

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**POTENCIALIDADES DA CLASSIFICAÇÃO
AUTOMÁTICA DE IMAGENS
LANDSAT-TM NO MONITORAMENTO CADASTRAL RURAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal
de Santa Catarina - UFSC, para a obtenção do
título de Mestre em Engenharia Civil -
Opção: Cadastro Técnico Multifinalitário.

SIMONE DA SILVA

Florianópolis
Agosto - 1995

**POTENCIALIDADES DA CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE IMAGENS
LANDSAT-TM NO MONITORAMENTO CADASTRAL RURAL**

SIMONE DA SILVA

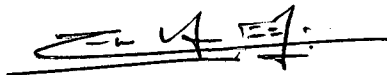
Esta dissertação foi julgada para obtenção do título de

MESTRE EM ENGENHARIA

Especialidade **Engenharia Civil** e aprovada em sua forma final pelo programa de **Pós-Graduação em Engenharia Civil**.

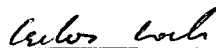


Prof. Dr. Carlos Loch (Orientador)



Prof. Dr. Carlos Alberto Szücs (Coordenador do Curso)

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Carlos Loch (Presidente)



Prof. Dr. Flávio Felipe Kirchner



Profª Drª Regina Davison Dias



Profª. Drª. Dora Maria Orth

DEDICAÇÃO

À VIDA

AGRADECIMENTOS

À todos que colaboraram para a conclusão deste trabalho, não apenas diretamente, mas que participaram com um gesto de afeto, com um sorriso ou com um abraço.

Agradeço em especial à Deus,
à minha família,
aos meus amigos,
à COPEL, ao IAP,
ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da UFPR,
ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFSC,
ao meu orientador e
à CAPES.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE SIGLAS.....	x
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.2.1 Objetivo Geral.....	2
1.2.2 Objetivos Específicos.....	2
1.3 JUSTIFICATIVAS.....	3

2 REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1 CARTOGRAFIA.....	4
2.1.1 Considerações Iniciais.....	4
2.1.2 Exatidão de uma Carta.....	5
2.2 SENSORIAMENTO REMOTO.....	7
2.2.1 Considerações Iniciais.....	7
2.2.2 Interpretação de Imagens.....	8
2.2.3 Obtenção de Imagens Digitais.....	10
2.2.4 O Sensoriamento Remoto e a Cartografia.....	11
2.3 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS.....	13
2.3.1 Considerações Iniciais.....	13
2.3.2 Aumento de Contraste.....	14
2.4 CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO.....	15
2.4.1 Cadastro Técnico Rural.....	17
3 ÁREA DE ESTUDO.....	19
3.1 LOCALIZAÇÃO.....	19
3.2 CADASTRO TÉCNICO RURAL.....	21
3.3 ESTRUTURA FUNDIÁRIA.....	22
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
4.1 MATERIAIS.....	24
4.2 METODOLOGIA.....	25
4.2.1 Escolha da Área de Estudo.....	25
4.2.2 Pré-processamento.....	27
4.2.3 Classificação.....	28

4.2.4 Correção Geométrica e Registro de Imagens.....	29
4.2.5 Levantamento de campo.....	30
4.2.6 Levantamento cartorial.....	31
4.2.7 Monitoramento do Uso do Solo.....	31
4.2.8 Monitoramento Cadastral.....	33
5 RESULTADOS E ANÁLISES.....	34
5.1 ESTATÍSTICA DAS IMAGENS.....	34
5.1.1 Histogramas das Imagens Originais.....	36
5.1.2 Cálculo da Matriz Variância-Covariância.....	42
5.1.3 Cálculo da Matriz Correlação.....	43
5.1.4 Cálculo do FIO - Fator de Índice Ótimo.....	45
5.2 AUMENTO DE CONTRASTE.....	47
5.2.1 Histogramas das Imagens com Aumento de Contraste.....	49
5.3 COLETA DAS ÁREAS DE TREINAMENTO.....	49
5.4 REGISTRO DE IMAGENS E CORREÇÃO GEOMÉTRICA.....	53
5.5 MONITORAMENTO DO USO DO SOLO.....	56
5.6 MONITORAMENTO DA ESTRUTURA FUNDIÁRIA.....	63
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	64
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estatística da Imagem de 1989.....	34
Tabela 2 - Estatística da Imagem de 1990.....	35
Tabela 3 - Matriz Variância-Covariância da Imagem de 1989.....	42
Tabela 4 - Matriz Variância-Covariância da Imagem de 1990.....	42
Tabela 5 - Matriz de correlação da Imagem de 1989.....	43
Tabela 6 - Matriz de correlação da Imagem de 1990.....	44
Tabela 7 - Fator de Índice Ótimo para a Imagem de 1989.....	45
Tabela 8 - Fator de Índice Ótimo para a Imagem de 1990.....	45
Tabela 9 - Estatística da Imagem de 1989 com Aumento de Contraste.....	47
Tabela 10 - Estatística da Imagem de 1990 com Aumento de Contraste.....	48
Tabela 11 - Pontos de Controle Utilizados no Registro das Imagens.....	54
Tabela 12 - Pontos de Controle utilizados na Correção Geométrica.....	55
Tabela 13 - RMS dos Pontos de Controle da Correção Geométrica.....	56
Tabela 14 - Comparação das Classificações.....	58
Tabela 15 - Resultado da Classificação da Imagem Subtração.....	61
Tabela 16 - Resultado da Classificação da Transformação das Componentes Principais.....	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Histograma de uma Imagem e de sua versão com Aumento de Contraste.....	14
Figura 2 - Mapa de Localização de Porto Vitória.....	20
Figura 3 - Articulação do Mapeamento Cadastral de Porto Vitória.....	26
Figura 4 - Histograma da Banda 1 da Imagem de 1989.....	36
Figura 5 - Histograma da Banda 2 da Imagem de 1989.....	37
Figura 6 - Histograma da Banda 3 da Imagem de 1989.....	37
Figura 7 - Histograma da Banda 4 da Imagem de 1989.....	38
Figura 8 - Histograma da Banda 5 da Imagem de 1989.....	38
Figura 9 - Histograma da Banda 7 da Imagem de 1989.....	39
Figura 10 - Histograma da Banda 1 da Imagem de 1990.....	39
Figura 11 - Histograma da Banda 2 da Imagem de 1990.....	40
Figura 12 - Histograma da Banda 3 da Imagem de 1990.....	40
Figura 13 - Histograma da Banda 4 da Imagem de 1990.....	40
Figura 14 - Histograma da Banda 5 da Imagem de 1990.....	41
Figura 15 - Histograma da Banda 7 da Imagem de 1990.....	41
Figura 16 - Composição Colorida 1-4-5 da Imagem de 1989.....	46

Figura 17 - Composição Colorida 1-4-5 da Imagem de 1990.....	47
Figura 18 - Histograma da Banda 1 da Imagem de 1989 com Aumento de Contraste.....	49
Figura 19 - Histograma da Banda 2 da Imagem de 1989 com Aumento de Contraste.....	49
Figura 20 - Histograma da Banda 3 da Imagem de 1989 com Aumento de Contraste.....	49
Figura 21 - Histograma da Banda 4 da Imagem de 1989 com Aumento de Contraste.....	50
Figura 22 - Histograma da Banda 5 da Imagem de 1989 com Aumento de Contraste.....	50
Figura 23 - Histograma da Banda 7 da Imagem de 1989 com Aumento de Contraste.....	50
Figura 24 - Histograma da Banda 1 da Imagem de 1990 com Aumento de Contraste.....	51
Figura 25 - Histograma da Banda 2 da Imagem de 1990 com Aumento de Contraste.....	51
Figura 26 - Histograma da Banda 3 da Imagem de 1990 com Aumento de Contraste.....	51
Figura 27 - Histograma da Banda 4 da Imagem de 1990 com Aumento de Contraste.....	52
Figura 28 - Histograma da Banda 5 da Imagem de 1990 com Aumento de Contraste.....	52
Figura 29 - Histograma da Banda 7 da Imagem de 1990 com Aumento de Contraste.....	52
Figura 30 - Superposição da banda TM5 das Imagens de 1989 e 1990.....	57
Figura 31 - Classificação Supervisionada da Imagem de 1989.....	59
Figura 32 - Classificação Supervisionada da Imagem de 1990.....	60
Figura 33 - Classificação da Imagem Subtração.....	61
Figura 34 - Classificação da Transformação das Componentes Principais.....	63

LISTA DE SIGLAS

ACI - Associação Cartográfica internacional

COPEL - Companhia Paranaense de Energia Elétrica

CTR - Cadastro Técnico Rural

EMATER - Empresa Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural

ERDAS - Earth Resources data Analysis System

FIO - Fator de Índice Ótimo

IAP - Instituto Ambiental do Paraná

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE - Instituto de Pesquisas Espaciais

ISODATA - Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique

ITC - Instituto de Terras e Cartografia

PEC - Padrão de Exatidão Cartográfica

UTM - Universal Transverse Mercator Projection

RESUMO

A presente pesquisa mostra procedimentos para a realização de monitoramento cadastral rural através da análise multitemporal do uso do solo efetuada com auxílio da classificação digital de imagens do sistema Landsat-TM.

Para o monitoramento do uso do solo utilizou-se quatro métodos: a) superposição de imagens; b) comparação pós-classificação; c) diferença multitemporal entre imagens e d) transformação das componentes principais.

Para o monitoramento do uso do solo a classificação digital possui grande potencial. A identificação das alterações na estrutura fundiária não foi possível de ser realizada devido a fatores como a diferença sazonal e o pequeno intervalo de tempo entre as imagens (aproximadamente 14 meses), como também ao tamanho das propriedades comparadas à resolução espacial das imagens.

ABSTRACT

This research shows the procedures to the rural cadastral monitoring accomplishment through the multitemporal analisys of soil use, realized with the image digital classification help of the Landsat-TM.

Four methods were used in order to realize the soil monitoring: a) image superposition; b) post-classification comparison; c) multitemporal difference between images and d) principal component- part transformations.

The digital classification has a great potential in soil use monitoring. The identification of variations in the real estates was not possible to be done due to the seasonal differences and the small interval between the images (approximately 14 months), and also because of the real estate sizes compared to space image resolutions.

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Nestes últimos anos muito se tem discutido sobre planejamento físico-territorial. A execução de um bom planejamento depende de dados exatos sobre o espaço geográfico que se pretende trabalhar.

O Cadastro Técnico Multifinalitário é uma ferramenta que oferece condições de auxiliar a tarefa de planejar, oferecendo informações georeferenciadas sobre determinado espaço geográfico, pois constitui-se de um conjunto de mapas temáticos integrados a um sistema de informações descritivas.

No início da década de 80, o Estado do Paraná começou a implantação do Cadastro Técnico Rural (CTR) e teve como área piloto o Município de Porto Vitória. Este município serviu como base para várias pesquisas, entre elas a descrita em LOCH (1990), onde mostra metodologia para

o monitoramento de propriedades rurais a nível municipal, utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto, através de interpretação visual de imagens Landsat.

Devido ao avanço dos sistemas computacionais e dos *softwares* de tratamento de imagens decidiu-se analisar as potencialidades da classificação automática de imagens orbitais (Landsat) para a identificação de alterações ocorridas no uso do solo, sistema viário e estrutura fundiária do Cadastro Técnico Rural de Porto Vitória, com o objetivo de agilizar o processo de monitoramento cadastral rural.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

O objetivo desta pesquisa foi o de avaliar métodos de classificação automática de imagens de sensoriamento remoto para o monitoramento do uso solo, visando identificar alterações na estrutura fundiária do Cadastro Técnico Rural do Município de Porto Vitória, localizado ao Sul do Estado do Paraná.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Avaliar métodos de classificação digital de imagens Landsat-TM para a discriminação do uso do solo;
- Comparar as classificações com o mapeamento cadastral de Porto Vitória, executado no ano de 1982, através de superposição digital;
- Verificar alterações na estrutura fundiária através da análise das classificações do uso do solo e do mapeamento cadastral

1.3 JUSTIFICATIVAS

Existe atualmente no Brasil, como em todo o mundo, uma grande preocupação com respeito à terra, ao seu ocupante como também ao planejamento e desenvolvimento da ocupação e uso desta terra.

O cadastro técnico multifinalitário é uma ferramenta que existe há mais de cem anos em países europeus, norte-americanos e na Austrália, porém no Brasil é um assunto considerado recente. São várias as Nações que estão utilizando informações cadastrais no apoio a seus programas de desenvolvimento, sejam urbanos ou rurais.

Os dados cadastrais devem ser confiáveis a todo momento. A manutenção portanto deve ser permanente de modo a manter sempre atualizados seus dados, sejam descritivos ou posicionais. A manutenção é uma atividade que deve ser planejada juntamente com a obtenção das informações e implantação do sistema, sendo tão importante quanto a própria implantação. Portanto é importante testar a eficiência da classificação automática de imagens de sensoriamento remoto para o monitoramento cadastral.

Quanto aos produtos de Sensoriamento Remoto a disposição dos usuários, encontra-se bastante diversificado quanto a resolução, seja espectral, espacial, radiométrica ou temporal. As imagens obtidas através de satélites artificiais possuem como características a visão panorâmica e a periodicidade freqüente que para o monitoramento são de grande valor.

Devido ao avanço da informática e conseqüentemente dos sistemas de tratamento de imagens, a interpretação de imagens orbitais digitais vem sendo aprimorada por intermédio de pesquisas, melhorando seu potencial principalmente para a atualização de cartas temáticas e para o monitoramento ambiental.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CARTOGRAFIA

2.1.1 Considerações Iniciais

De acordo com JOLY (1990), para representar uma superfície é necessário:

- a) um conhecimento aprofundado do assunto a ser cartografado e dos métodos de estudo que lhe concernem;
- b) uma prática comprovada de expressão gráfica com suas possibilidades e seus limites;
- c) familiaridade com os modernos procedimentos de criação e de divulgação dos mapas.

Para ANDRÉ (1980), a Cartografia é uma forma gráfica de representação, um meio de expressão, ou uma técnica a serviço da ciência das mais variadas áreas e o cartógrafo é aquele que produz um tema seja físico, humano ou econômico em uma linguagem gráfica através de símbolos.

A definição de Cartografia é, segundo a ACI (1966), " o conjunto dos estudos e de operações científicas, artísticas e técnicas que intervêm a partir dos resultados de observações diretas ou da

exploração de uma documentação, em vista da elaboração e do estabelecimento de mapas, planos e outros modos de expressão, assim como sua utilização."

Para JOLY (1990), redigir um mapa é, primeiro, juntar a documentação indispensável a uma cobertura exaustiva do território considerado, através de levantamentos de campo e dos trabalhos de escritório referentes aos dados estatísticos, cartográficos ou iconográficos coletados. Um mapa descreve um determinado espaço geográfico com suas características qualitativas e/ou quantitativas.

A finalidade da Cartografia é, de acordo com RAISZ (1969) e GEMAEL (1976), coletar dados e medidas sobre a Terra para representá-la. Para a coleta de dados a Cartografia se apoia na Geodésia, na Astronomia, na Topografia e na Fotogrametria.

Segundo BRASIL (1981) a Cartografia desenvolveu-se como instrumental de suporte essencial às áreas social, agrícola e energética, sendo sua contribuição de grande valia para o planejamento.

2.1.2. Exatidão de uma carta

De acordo com ROBINSON et al (1978), os mapas são abstrações da realidade. O mundo real é intrincado e surpreendentemente complexo. Todos os mapas são concernidos por dois elementos fundamentais que são a localização (posição no espaço bidimensional através de coordenadas corretas x, y) e o atributo (qualidade ou magnitude).

LOCH (1982) coloca que num mapa não é necessário exatidão maior do que aquela que se pode apreciar com a escala do mapa. Em nenhum mapa pode-se apreciar pormenor algum que tenha sido cartografado, no campo, por métodos mais exatos do que aqueles aplicados no resto dos dados do mapa.

O conceito de exatidão, de acordo com NUNES e BRITO (1987), está ligado à dispersão dos pontos de uma carta em relação aos seus valores médios ou mais prováveis. É a exatidão que traduz a confiabilidade de uma carta em termos de possibilitar ao usuário da mesma a avaliação

do erro médio cometido ao tomar direções e distâncias entre os diversos pontos nela representados.

Para verificar a confiabilidade de uma carta deve-se selecionar os pontos a serem checados. Segundo NOVAES (1982), para os pontos planimétricos deve-se considerar pontos bem definidos, tanto na carta como no terreno. Estes pontos geralmente são as bifurcações e cruzamentos de caminhos e de cercas.

Segundo o mesmo autor os pontos que apresentam melhores características, para o teste altimétrico, são aqueles que se situam sobre o contorno das curvas de nível e sejam facilmente identificáveis, tanto na carta quanto no terreno e, eventualmente nas fotografias. Neste caso considera-se os entroncamentos de caminhos e cercas, além das habitações.

Com relação ao número de pontos a serem testados, NOVAES (1982) coloca que, inicialmente procede-se a identificação, nas cartas, de todos os pontos que apresentem condições a serem testados de acordo com o teste pretendido e verifica-se seu número por carta. Quanto mais rígido for o teste, maior será o número necessário de pontos a serem trabalhados. O número certo, entretanto, será ditado de acordo com o caso específico.

De acordo com o artigo 8º do decreto de nº 89.817 de 20 de junho de 1984, a classificação de uma carta quanto à sua exatidão deve obedecer ao Padrão de Exatidão Cartográfica - PEC que estabelece:

- a) Noventa por cento dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfico, planimétrico estabelecido;
- b) Noventa por cento dos pontos isolados de altitude, obtidos por interpolação de curvas de nível, quando testados, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfico, altimétrico estabelecido.

2.2 SENSORIAMENTO REMOTO

2.2.1 Considerações Iniciais

Segundo SIMONETT (1989), Sensoriamento Remoto é a aquisição de informações sobre um objeto sem contato físico direto em uma parte do espectro eletromagnético.

De acordo com STEFEN (1980), o sensoriamento remoto tem como objetivo caracterizar as propriedades de alvos por intermédio de detecção, registro e análise do fluxo de energia radiante refletido ou emitido pelos mesmos.

Segundo NOVO (1989) a tecnologia de sensoriamento remoto utiliza modernos sensores, equipamentos de transmissão e de processamento de dados, aeronaves (ou espaçonaves, ou outros) com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta em suas mais diversas manifestações.

De acordo com LOCH e KIRCHNER (1989) devido ao crescente desenvolvimento das técnicas de sensoriamento remoto, os trabalhos de análise e levantamento de uma área ou região estão sendo facilitados, proporcionando condições para uma avaliação consciente.

Os produtos de sensoriamento remoto estão hoje bastante diversificados, deixando ao usuário a escolha de acordo com a finalidade do trabalho a ser executado. A escolha deve ser baseada, além da relação custo/benefício, na qualidade das resoluções espacial, radiométrica, espectral e temporal.

A resolução espacial, de acordo com CROSTA (1989), refere-se a capacidade que o sistema sensor possui em “enxergar” objetos na superfície terrestre. A resolução espacial é inversamente proporcional ao tamanho do menor objeto identificado, isto é quanto menor o objeto possível de ser visto, maior a resolução espacial.

Quanto a resolução radiométrica, CROSTA (1989) define como o número de níveis digitais da imagem, representando níveis de cinza, que são utilizados para expressar os dados coletados pelo sensor. Quanto maior o número de níveis de cinza, maior a resolução radiométrica

Resolução espectral, conforme o mesmo autor, é definida pelo número de bandas espectrais do sistema sensor e pela largura do intervalo de comprimento de onda coberto em cada banda. Para uma maior resolução espectral, o sistema deve ter várias bandas espectrais e a largura do intervalo do comprimento de onda deve ser pequena.

Quanto a resolução temporal, SIMONETT (1989), coloca que é um fator importante a ser considerado, pois está relacionada à frequência com que uma mesma área pode ser recoberta pelo sistema sensor.

2.2.2. Interpretação de Imagens

De acordo com ESTES e SENGER (1974) a interpretação de imagens é o ato de examinar fotografias e ou imagens orbitais com a finalidade de identificar objetos e fenômenos e julgar seu significado.

LOCH (1989-a) afirma que a interpretação de uma imagem pode ser precisa ou imprecisa, completa ou parcial, sempre dependendo da pessoa que executa o trabalho, da qualidade das fotografias disponíveis, dos objetivos do trabalho, da disponibilidade de instrumentos, das exigências do trabalho e do conhecimento adquirido por outras fontes como bibliografia ou outro levantamento por sensoriamento remoto.

De acordo com ESTES et al (1989) a análise de uma imagem começa com a detecção e identificação dos objetos importantes. Os objetos podem ser medidos manualmente ou com instrumentos apropriados. O intérprete deve ser hábil para identificar o objeto e expressar o seu significado.

Segundo CHUVIECO (1990) uma rigorosa interpretação de imagens leva em conta os principais dados de sua aquisição, assim como os tratamentos que foram abordados nas antenas receptoras. As anotações incluídas numa imagem diferem segundo o sensor de qual é adquirida e da organização que a processa.

Tipos de dados contidos em uma imagem:

Data da aquisição;

Coordenadas do centro da imagem;

Coordenadas do ponto nadir;

Indicador do sensor e da banda imageada;

Centro produtor da imagem;

Ângulo de elevação solar;

Ângulo azimutal;

Agência e projeto;

Código de identificação da cena (n° do satélite, dias transcorridos desde o lançamento, hora, minutos e segundos da aquisição).

Na interpretação visual a extração da informação de uma imagem é feita através do olho humano, que segundo NOVO (1989) é um sensor sofisticado conectado a uma central de processamento de informações (cérebro) de elevada competência.

Existem elementos fundamentais para a interpretação de imagens, que de acordo com o ESTES et al (1989), são a tonalidade, a cor, o tamanho, a forma, o padrão, a textura, a posição espacial e a associação.

Uma das principais vantagens da análise visual sobre a digital é a sua capacidade de incorporar à interpretação da imagem, critérios complexos. De acordo com CHUVIECO (1990), o tratamento digital se baseia quase que exclusivamente na interpretação radiométrica de cada *pixel* e nas diferentes bandas utilizadas para a interpretação. A análise visual pode utilizar outros elementos tais como a textura e a estrutura, que são difíceis de definir em métodos digitais.

Segundo LOCH (1989-b) e CROSTA (1989), dentre os vários processos de interpretação digital de imagens é possível agrupá-los em duas categorias: classificação supervisionada e classificação não supervisionada

A classificação supervisionada é controlada pelo analista, o qual seleciona *pixels* da imagem que representam padrões previamente conhecidos. Neste tipo de classificação, de acordo com CROSTA (1989) é necessário que o usuário conheça a área a ser classificada, antes de iniciar o processo.

O usuário identifica áreas de treinamento na imagem para cada classe que se deseja formar. A qualidade da classificação aumenta com o número de bandas usadas mas, por outro lado, os cálculos necessários à classificação se tornam mais demorados e complexos.

Quanto aos algoritmos utilizados na classificação supervisionada de imagens de sensoriamento remoto, os mais usuais são o método do paralelepípedo, o método da mínima distância e o método de máxima verossimilhança.

Na classificação não supervisionada o computador decide, através de regras estatísticas, para qual classe determinado *pixel* pertence. O analista não interfere no agrupamento, apenas determina o número de classes que devem ser identificadas na imagem e após a classificação identifica o que corresponde cada uma das classes.

2.2.3 Obtenção de Imagens Orbitais

Em 1973, o Brasil iniciou o rastreamento de satélites de sensoriamento remoto, com a instalação pelo INPE, de um completo sistema de coleta, processamento e geração de imagens, logo após o lançamento do primeiro satélite de mapeamento da Terra, da série Landsat, pelos EUA, em julho de 1972.

O INPE é o responsável pela distribuição das imagens. O usuário escolhe além da cena, data e bandas, a forma como deseja a imagem (analogica ou digital) e o nível de correção da cena.

Atualmente os produtos analógicos TM-Landsat produzidos pelo INPE apresentam-se com o nível de correção 5 e os produtos digitais apresentam-se com 3 níveis de correção:

Nível 4 - correções geométricas ao longo da linha;

Nível 5 - correções geométricas básicas com reamostragem por vizinho mais próximo;

Nível 6 - correções geométricas básicas com reamostragem por convolução cúbica.

Um produto geometricamente corrigido é definido como uma imagem que possui uma relação linear entre as coordenadas de imagem e as coordenadas de uma projeção cartográfica para os pontos da superfície terrestre.

O processo de correção geométrica de uma imagem tem por finalidade restaurar sua geometria interna, preservando ao máximo suas características radiométricas.

Segundo BEZERRA e D'ALGE (1988) in ARAKI (1990), a correção geométrica do sistema utiliza o conhecimento das características do sensor a partir das calibrações efetuadas anteriormente ao seu lançamento, a partir dos parâmetros do elipsóide de referência, das equações do sistema de projeção desejado e das informações transmitidas pelo satélite juntamente com os dados da imagem (efemérides, valores de atitude determinados a bordo e parâmetros que especificam o comportamento do sensor).

2.2.4 O Sensoriamento Remoto e a Cartografia

O desenvolvimento do Sensoriamento Remoto, segundo SIMONETT (1989), pode ser dividido em duas fases. A primeira, anterior a 1960, era baseada apenas na fotografia aérea e a segunda fase, posterior a 1960, caracteriza-se pelo surgimento de sensores orbitais.

De acordo com JOLY (1990) no final da década de 50 abriu-se uma nova era para a Cartografia, isto devido a utilização dos satélites artificiais para a mensuração e observação da Terra e o uso do computador para o tratamento da massa de informações coletadas de sua transcrição gráfica.

Como as imagens obtidas por satélites são fornecidas em intervalos regulares facilita a atualização de mapas e permite o acompanhamento permanente da superfície terrestre.

SILVA (1986) coloca que o sensoriamento remoto é uma ferramenta essencial na elaboração de documentos cartográficos e que o potencial de aplicações de satélites no mapeamento é ilimitado.

De acordo com SILVA e D'ALGE (1986), as imagens analógicas TM - Landsat podem ser utilizadas como bases planimétricas para cartas topográficas e temáticas em escalas igual ou inferiores a 1:100.000

Para MITISHITA et al (1988) os satélites de observação da Terra com maior número de bandas espectrais e maior poder de resolução associados com a velocidade crescente de novas tecnologias de processamento digital de imagens tem ampliado as aplicações das imagens orbitais.

De acordo com ROSA (1995) existem diversos tipos de softwares no mercado, direcionados à execução de várias tarefas de Geoprocessamento, o problema é identificar qual atende melhor às necessidades específicas de cada trabalho. A redução de custos e a propagação de sistemas vinculados a áreas específicas facilitaram o acesso a novos equipamentos. Hoje o maior problema é a formação técnica do usuário.

ROSA (1995) afirma que a avalanche de inovações nos Sistemas de Informações Geográficas, Cartografia Automatizada, Sistemas de Processamento de Imagens dificulta a compreensão destes pelos usuários. A aquisição do conhecimento, habilitação e experiência é uma etapa por vezes difícil devido a cultura e hábito.

2.3 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

2.3.1 Considerações Iniciais

De acordo com SCHOWENGERDT (1983) uma imagem digital é uma matriz bidimensional onde cada elemento (*pixel*) é individualizado pela sua posição na matriz e tem a ele associado um número, que representa o valor quantizado de uma amostra, que corresponde à radiância média de uma pequena área da cena.

O processamento digital de imagens de sensoriamento remoto, conforme CROSTA (1989), tem como função primordial facilitar a identificação e a extração de informações contidas nas imagens para posterior classificação.

Segundo RICHARDS (1993), cada banda de uma imagem possui um único histograma, contendo informações radiométricas da imagem. O histograma pode ser calculado para uma imagem inteira ou para apenas uma porção desta imagem, sendo que tais histogramas são diferentes. O histograma não contém informação espacial sobre a imagem.

De acordo com CROSTA (1989) o histograma é a forma de representar a distribuição dos níveis de cinza de uma imagem, fornecendo informação sobre quantos *pixels* da imagem possuem determinado valor possível de nível de cinza.

Segundo o mesmo autor, é através do espalhamento dos valores de níveis de cinza no histograma, que se obtém a medida do contraste de uma imagem: quanto maior o espalhamento, maior o contraste.

O histograma é calculado para cada banda da imagem, sendo denominado de *scattergrama* o histograma multi-dimensional com duas dimensões, isto é, calculado para duas bandas. Através do *scattergrama* pode-se avaliar o grau de correlação entre pares de imagens e auxilia na decisão sobre tipos de técnicas de aumento de contraste a serem aplicadas nas imagens.

2.3.2 Aumento de Contraste

Um histograma de uma imagem bruta apresenta, normalmente, *pixels* agrupados em valores de cinza muito próximos. De acordo com BÄHR (1991) para melhorar o contraste de uma imagem é necessário que o histograma seja expandido de modo a distribuir as frequências de níveis de cinza por todo o intervalo de níveis possíveis. Para o caso de imagens Landsat, o intervalo máximo é de 256 níveis de cinza.

A ampliação do contraste visa melhorar a qualidade visual das imagens, porém, de acordo com CROSTA (1989) o aumento de contraste nunca revela informação nova, que já não esteja contida na imagem original. A sua função é apenas representar a mesma informação contida nos dados brutos de maneira mais clara ao intérprete.

Existe uma variedade de tipos de aumento de contraste. Cada um deles se aplica de forma mais eficaz a determinadas situações. A forma mais simples de se aumentar o contraste, conforme CROSTA (1989) é através do aumento linear. Nele, a função de transferência é uma reta e apenas dois parâmetros são controlados: a inclinação da reta e o ponto de interseção com o eixo X.

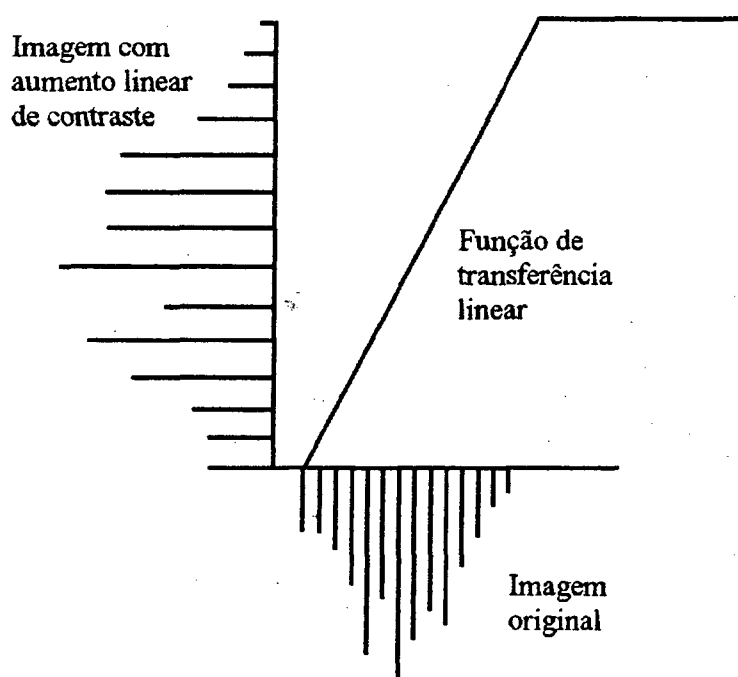


Figura 1 - Histograma de uma imagem e de sua versão com aumento linear de contraste

Fonte: CROSTA (1989)

2.4 CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO

De acordo com HAMPEL (1987), o desenvolvimento de uma nação só é possível tendo rapidamente às mãos dados completos, confiáveis, práticos e aproveitáveis sobre as áreas de interesse. Cadastro técnico é uma disposição oficial de dados, onde todas as propriedades são registradas de acordo com as necessidades dos diversos interessados sobre o território.

Conforme DUARTE (1991) a importância do cadastro técnico é reconhecida mundialmente. O cadastro técnico garante o direito de posse, serve de instrumento à justa tributação e também serve de suporte à política de ordenamento e planejamento territorial, propiciando bases para o desenvolvimento integrado e harmônico do espaço geográfico.

Segundo DALE e McLAUGHLIN (1990) os sistemas cadastrais são classificados de acordo com a informação que contém e com a finalidade para qual foi elaborado. Entre as categorias de cadastro existem três que são mais reconhecidas: a) cadastro jurídico; b) cadastro fiscal e; c) cadastro multifinalitário. O cadastro multifinalitário contém além de informações do cadastro jurídico e do cadastro fiscal, outras informações referentes à propriedade.

DALE e McLAUGHLIN (1990) também colocam que a função do cadastro é prover dados relativos à propriedade como o direito sobre a terra, seu valor e seu uso. O cadastro multifinalitário é independente da estrutura administrativa, pode ser centralizado, descentralizado, ou ambos e pode ser implementado por instituições de todos os níveis governamentais (municipal, estadual e federal).

FREITAS (1987) define cadastro como sendo o registro oficial das informações que definem as propriedades. Tais informações referem-se às características da propriedade (localização, tipo, área, utilização, benfeitorias, valor e direitos). O registro deve caracterizar a propriedade na sua forma mais atual e deve propiciar a geração de recursos para investimentos e a base para a aplicação dos mesmos.

De acordo com BÄHR (1982), FREITAS (1987), TERRON (1987) e LOCH (1992), o cadastro técnico multifinalitário é uma valiosa fonte de informações que deve servir a múltiplos usuários, das mais variadas áreas, tendo portanto caráter multidisciplinar.

Conforme COLÔMBIA (1980) o cadastro técnico multifinalitário constitui uma das melhores fontes de informação básica sobre a topografia, as construções, o tamanho e a forma das edificações, sobre as características dos solos, uso atual e uso potencial das terras, assim como sua maneira de utilização e a forma de seu manejo e as condições hídricas do terreno.

Segundo TERRON (1987) não é necessário que todas as informações sejam obtidas em um único levantamento. O que é imprescindível para o cadastro técnico, é a existência de uma base cartográfica confiável e única para apoiar as múltiplas informações que forem sendo acrescentadas ao sistema.

Um cadastro técnico é, segundo DOBNER (1981), a base para uma administração eficaz. Na esfera jurídica o cadastro e o registro público da propriedade estão estreitamente ligados entre si. Na esfera fiscal o cadastro deve estabelecer parâmetros para uma tributação justa. Um sistema cadastral constitui uma estrutura que envolve aspectos técnicos, científicos, políticos e sociais.

Para GLÓRIA (1991) um cadastro técnico congrega um conjunto de dados que possibilita identificar níveis de hierarquização de prioridades e influencia também a definição de políticas orientadoras.

De acordo com MELO e SEIXAS (1987), um cadastro técnico, devido a sua complexidade, diversidade e volume de atividades, impõem a existência de um sistema informacional técnico sobre cada um de seus segmentos e seus usuários, para gerar um sistema tarifário mais justo e um padrão operacional a nível de otimização.

Segundo BÄHR (1982), HAMPEL (1987) e LIMA (1991), para que o cadastro atinja seus objetivos é necessário possuir dados corretos e confiáveis, deve estar ligado à rede geodésica nacional e a atualização dos dados deve ser permanente.

Somente com a execução do cadastro técnico, tanto rural como urbano, segundo LOCH (1989-a), será exequível um planejamento integrado de uma área, possibilitando a coordenação e o estabelecimento de escalas de prioridades para os investimentos públicos. Através dos mais variados mapas temáticos, é possível programar e planejar exatamente o que, e em que quantidade produzir dentro de um sistema econômico lucrativo.

De acordo com ZIMMERMANN (1993), existem vários sistemas de cadastro, pois estes refletem também a situação sócio-cultural e sócio-econômica do país, porém independente da situação específica de cada sistema de cadastro, existe em todo o mundo vários componentes comuns que são as questões políticas, as questões legais ligadas ao cadastro, os assuntos fiscais e os problemas financeiros.

2.4.1 Cadastro Técnico Multifinalitário Rural

Segundo LESSA (1992) cadastro técnico rural pode ser definido como um sistema de informações sobre uma determinada região, referenciado a uma base cartográfica. O cadastro técnico rural deve ser de competência governamental e tem como finalidade servir de instrumento para a justa tributação e para o planejamento.

O cadastro técnico rural, de acordo com D'ASSUMPÇÃO (1987), é uma fonte de informações, com dados exatos e precisos, que propicia para as autoridades da região condições para o estabelecimento de metas e condições para o desenvolvimento de forma econômica, social e democrática.

Para LORENA (1987), o cadastro técnico multifinalitário rural precisa definir e assegurar a propriedade e para isto é necessário determinar e registrar as divisas e a localização exata das parcelas de terra. O cadastro deve estar amarrado à realidade, não somente amarrado a uma rede de meridianos e paralelos bem definidos como também à coleta e confiabilidade dos dados.

Segundo LOCH (1992), o cadastro rural é a ferramenta para os trabalhos de extensão rural e pode proporcionar o equilíbrio econômico do produtor rural, o qual no sistema produtivo vem

empobrecendo a cada ano que passa.

De acordo com IAP (1995), o cadastramento de imóveis é uma atribuição do governo e exige uma normatização de procedimentos. Os princípios básicos que norteiam o desenvolvimento do cadastro técnico são:

- a) identificação das divisas juntamente com os proprietários;
- b) amarração do imóvel à rede geodésica brasileira, para garantir a exata localização das divisas da propriedade;
- c) vinculação dos dados técnicos ao registro imobiliário para proporcionar total embasamento técnico à garantia do direito da propriedade;
- d) atualização permanente dos dados cadastrais.

SCHNEIDER e LOCH (1994) definem cadastro técnico multifinalitário rural como uma “radiografia completa” do tecido rural de um município o qual possui como produtos vários mapas temáticos integrados a um sistema de informações descritivas.

Para GONDIM e BALATA (1975) um planejamento integrado de uma região que possibilite o estabelecimento de escalas de prioridades só é possível com a execução de um cadastro técnico rural. O cadastro técnico rural visa fundamentalmente proporcionar às entidades públicas federais, estaduais e municipais, bem como às empresas rurais, dados e informações georeferenciadas sobre recursos e possibilidades de desenvolvimento local integrado.

AREZZO (1982) considera cadastro técnico rural o conjunto de informações relativas a cada imóvel rural, representados em forma de mapas e em fichas individuais, que são necessárias e suficientes para:

- a) a sua caracterização no espaço e o estabelecimento de suas relações de vizinhança;
- b) a apreciação das condições de sua titulação;
- c) o conhecimento da capacidade de uso das suas terras;
- d) o conhecimento do uso dado às suas terras;
- e) as condições de ocupação; e
- f) outras informações de natureza social e econômica que se tornarem necessárias a nível de propriedade.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 LOCALIZAÇÃO

Como área de estudo escolheu-se o município de Porto Vitória que localiza-se ao Sul do Estado do Paraná, entre os pontos de coordenadas $51^{\circ} 00'$ e $51^{\circ} 30'$ de longitude Oeste e $26^{\circ} 00'$ e $26^{\circ} 30'$ de latitude Sul, conforme figura 2. O município está a uma altitude média de 950 metros e dista aproximadamente 250 Km da capital paranaense, Curitiba.

O município de Porto Vitória foi escolhido para área de estudo por possuir dados cadastrais com mais de uma década de implantação, oferecendo, portanto, informações para a realização da proposta desta pesquisa.

O município faz parte da microregião Médio Iguaçu e de acordo com KHATIB (1959) limita-se com os municípios paranaenses de Bituruna, União da Vitória e General Carneiro e com o Estado de Santa Catarina.

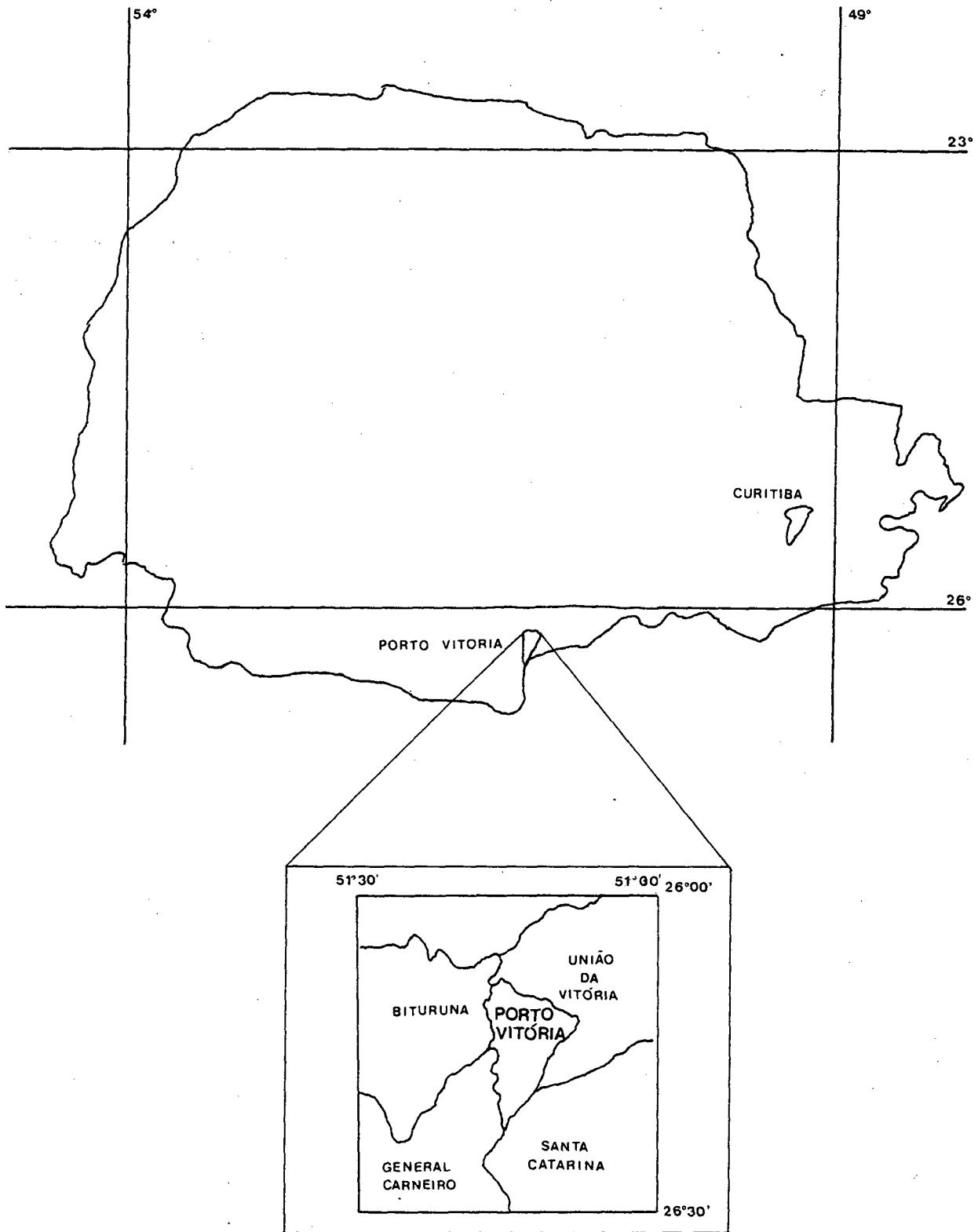


Figura 2 - Mapa de localização de Porto Vitória

3.2 CADASTRO TÉCNICO RURAL

O projeto de cadastramento de imóveis rurais do município de Porto Vitória foi a primeira experiência do Instituto de Terras e Cartografia - ITC (vinculado à Secretaria de Agricultura do Paraná) atual Instituto Ambiental do Paraná - IAP, com cadastro técnico rural.

A implantação do cadastro técnico foi realizada por um método misto de Topografia e Fotogrametria. O método fotogramétrico foi utilizado para a restituição dos rios e de estradas. Os pontos de divisa foram determinados em campo, através de métodos topográficos.

O cadastro foi implantado no ano de 1982, porém o voo aerofotogramétrico utilizado para a sua execução foi realizado no ano de 1980, quando o estado do Paraná realizou a cobertura aerofotogramétrica de todo seu território na escala nominal 1:25.000.

Como resultado final foram cadastrados 517 imóveis rurais e como produtos desse cadastro técnico, encontram-se a disposição no IAP cartas com os temas fundiário, planialtimétrico, declividade, uso do solo e uso potencial do solo, além de dados cadastrais das propriedades e dos proprietários.

A elaboração das cartas foi realizada com o auxílio de empresas privadas especializadas na área de mapeamento e também por convênio com o Departamento de Solos da Universidade Federal do Paraná.

A coleta dos dados cadastrais referentes aos proprietários e propriedades foram obtidos por equipes que percorreram todas as propriedades. Tais dados foram armazenados em um sistema computacional desenvolvido dentro do próprio ITC, com o apoio do Estado alemão de Baden-Württemberg.

3.3 ESTRUTURA FUNDIÁRIA

O município de Porto Vitória entre os anos de 1887 e 1900 era ocupado apenas pela fazenda Santa Maria, cujos limites ultrapassavam os atuais limites do município, inclusive ultrapassavam os limites do Estado.

No ano de 1900, sobre a fazenda Santa Maria instalou-se a colônia Anta Gorda, que possui propriedades em formatos irregulares. Em 1907 ainda sobre a fazenda Santa Maria foram criadas as colônias Coronel Amazonas e Vitória. A estrutura fundiária destas duas colônias caracterizavam-se por propriedades com formato uniforme e com largura pouco expressiva se comparada à extensão.

Em 1966, quando foi executado o primeiro mapeamento fundiário do município de Porto Vitória, segundo LOCH (1990), verificou-se na estrutura fundiária apenas alguns repasses de terras de grandes fazendas para pequenos proprietários e algumas aglutinações de propriedades, tomando-se como referência os dados dos mapas das colonizações da área.

Um fator importante durante estes 66 anos com relação à estrutura fundiária refere-se a uma parte da colônia Coronel Amazonas que pertence atualmente ao município de União da Vitória e uma parte da antiga fazenda Santa Maria que pertence ao município de Porto União - SC, fato este que justifica o atual município possuir área inferior à fazenda Santa Maria. Atualmente Porto Vitória possui área aproximada de 23.000 ha.

Em 1982, data da execução do cadastro técnico rural - CTR, de acordo com LOCH (1990), apareceram em toda a extensão do município várias propriedades pequenas, até mesmo inferiores ao módulo rural, que para Porto Vitória é de 15 ha.

Através da interpretação visual das imagens TM do Sistema Landsat, obtidas no dia 22 de setembro de 1984, segundo LOCH (1990), foi possível identificar três alterações na estrutura fundiária do município em comparação com o mapa fundiário do CTR além de três propriedades identificadas nas imagens e não demarcadas na implantação do CTR.

Com a interpretação visual das imagens do dia 5 de junho de 1985 identificou-se apenas mais um parcelamento de propriedade. Nas imagens do dia 12 de novembro de 1985 identificou-se o parcelamento de mais duas propriedades do município. LOCH (1990) também apresenta a interpretação das imagens obtidas no dia 27 de agosto de 1986 que permitiram identificar mais três propriedades parceladas, totalizando uma diferença de 12 propriedades entre o CTR e a atualização feita por interpretação visual.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados para a elaboração desta pesquisa foram:

- Imagens digitais de satélite, bandas TM 1, 2, 3, 4, 5 e 7, do Landsat 5, de julho de 1989;
- Imagens digitais de satélite, bandas TM 1, 2, 3, 4, 5 e 7, do Landsat 5, de setembro de 1990;
- Imagens analógicas de satélite, bandas TM 3, 4 e 5, do Landsat 5, de 1987;
- Carta topográfica SG-22-Y-B-III (União da Vitória), escala 1:100.000 do mapeamento sistemático, executada pelo IBGE, no ano de 1974, por método de restituição aerofotogramétrica com fotografias aéreas de 1964;
- Cartas cadastrais 1:10.000, executadas em 1982 com fotografias aéreas de 1980, nos temas uso do solo, fundiária, declividade, uso potencial do solo e planialtimétrica;

- Fotografias 1:25.000 da cobertura aerofotogramétrica do Estado do Paraná no ano de 1980;
- Fotografias 1:50.000 de abril de 1995;
- Mapa rodoviário de Porto Vitória;
- Ampliação fotográfica 1:10.000 da cobertura aerofotogramétrica, de abril de 1995, executada pela Empresa Engefoto Engenharia de Aerolevantamentos S.A., contratada pela COPEL;
- Ampliação fotográfica 1:10.000 da cobertura aerofotogramétrica, de 1980, executada pela Empresa Esteio Engenharia de Aerolevantamentos S.A.;
- Sistema ERDAS para tratamento e classificação de imagens, instalado num microcomputador PC 486, com 50 Mhz, 8 Mb de memória RAM, winchester 350 Mb - CONNER, placa controladora de vídeo Orquichd Fahrenheit de 1 MB e vídeo SVGA;
- Manual do ERDAS;
- Literaturas específicas
- Memorial descritivo das propriedades;
- Dados cadastrais das propriedades.

4.2 METODOLOGIA

4.2.1 Escolha da Área de Estudo

Para aplicar a proposta da pesquisa era necessário a existência de um Cadastro Técnico Rural. O Cadastro Técnico Rural de Porto Vitória é considerado um dos mais antigos do Brasil, possuindo um banco de dados acessível, sendo fácil o contato com profissionais do IAP como também o acesso de Curitiba à Porto Vitória.

O mapeamento de Porto Vitória é composto por 16 cartas cadastrais, em escala 1:10.000, conforme articulação mostrada na figura 3. Para a pesquisa analisou-se a folha nº 8-H-0-0405 que localiza-se à oeste do município fazendo divisa com o município de Bituruna. A folha foi utilizada em trabalhos anteriores como LOCH (1993) e NASCIMENTO (1994).

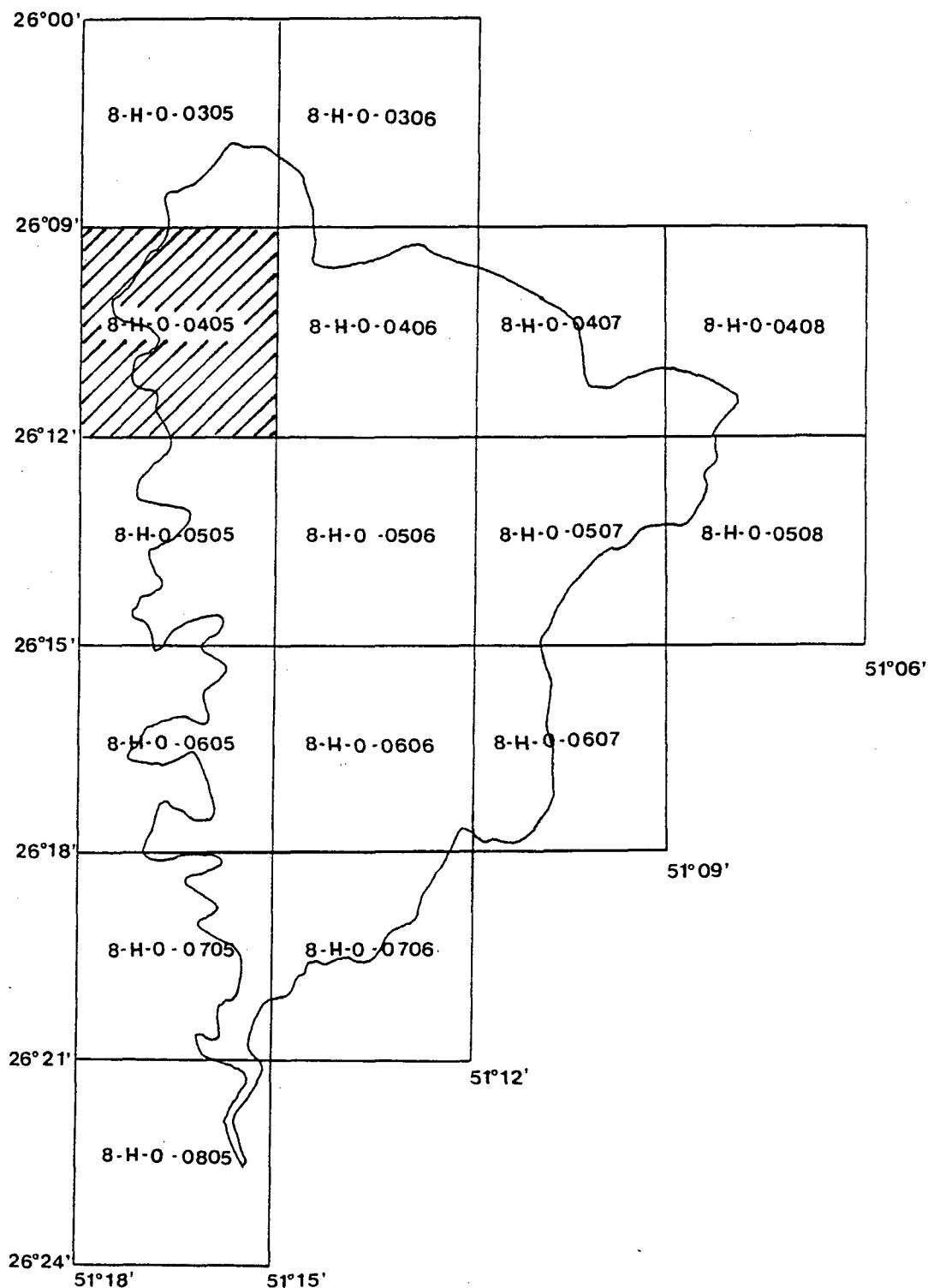


Figura 3 - Articulação do mapeamento cadastral de Porto Vitória

4.2.2 Pré-Processamento

Quando imagens digitais de sensoriamento remoto são utilizadas faz-se necessário a determinação dos valores máximo e mínimo, da média, da moda e do desvio padrão dos valores de níveis de cinza de cada banda imageada. Estes valores são utilizados na formação dos histogramas.

Informações que envolvem mais de uma banda resultam dados de variância, covariância e correlação. Para a seleção da melhor composição colorida, de acordo com JENSEN (1986), utiliza-se o FIO (Fator de índice ótimo), que é dado pela seguinte fórmula:

$$FIO = (S_1 + S_2 + S_3) / (R_{12} + R_{13} + R_{23})$$

Sendo S_n = desvio padrão da banda n ;

R_{mn} = correlação da banda m com a banda n

Calculou-se o FIO para todas as combinações possíveis das imagens digitais utilizadas na pesquisa. Cada uma das imagens possui 6 bandas portanto, é possível formar vinte combinações coloridas para cada data.

Conforme CROSTA (1989) o sistema visual humano só consegue identificar cerca de 30 tons de cinza, portanto é importante o uso de técnicas de aumento de contraste, de modo que a distribuição de níveis de cinza (Dns) seja melhor distribuída no histograma. A distribuição de níveis de cinza em uma banda normalmente concentra-se numa pequena faixa do intervalo dos 256 níveis, conforme a característica ou localização no espectro eletromagnético.

O aumento de contraste em uma imagem faz-se necessário quando o usuário precisa identificar feições, como por exemplo para a identificação dos pontos de controle para a correção geométrica da imagem. Aplicou-se aumento de contraste em todas as bandas utilizadas na pesquisa.

Dentre as formas de aumento de contraste aplicou-se o método linear, que caracteriza-se por uma função de transferência onde apenas dois parâmetros são controlados: a inclinação da reta e o ponto de interseção com o eixo x (eixo das distribuições).

No método linear as barras verticais que formam o histograma da imagem de saída são igualmente espaçadas e o formato do histograma final é idêntico ao formato do histograma inicial.

4.2.3 Classificação

O Sistema ERDAS permite a classificação digital supervisionada e não supervisionada. Primeiramente, nesta pesquisa, classificou-se as imagens por métodos não supervisionados para obtenção de subsídios para o trabalho de campo em busca da verdade terrestre.

Classificar uma imagem multiespectral consiste em atribuir a cada pixel que compõem a imagem, um grupo ou uma classe. Cada superfície possui características específicas e apresenta um comportamento específico ao longo do espectro eletromagnético, o que permite sua identificação. Na classificação não supervisionada o *software* identificou, sem a intervenção do usuário, classes de uso do solo, restando apenas associar a cada classe o seu significado.

Para a classificação não supervisionada o sistema de tratamento de imagens do ERDAS oferece ao usuário três opções para o agrupamento:

- a) agrupamento seqüencial
- b) agrupamento estatístico
- c) ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique)

De acordo com Manual ERDAS (1993) o método seqüencial analisa um pixel de cada vez, linha por linha, e são agrupados pela distância espectral e para a classificação é utilizado o método de mínima distância espectral. O método estatístico analisa o *pixel* levando em consideração seus vizinhos, formando uma janela de 3X3 *pixels*.

O método ISODATA utiliza como algoritmo a mínima distância espectral, é um método iterativo e começa a classificação com valores arbitrários para a média de cada classe.

No desenvolvimento desta pesquisa utilizou-se o método não supervisionado ISODATA que juntamente com o trabalho de campo e de interpretação das fotografias aéreas auxiliou o processo de classificação supervisionada, na etapa correspondente a coleta de amostras (áreas de treinamento).

Na classificação supervisionada o usuário interfere no processo através da seleção de áreas de treinamento correspondentes as diversas classes que se deseja obter na classificação. Identificou-se polígonos (áreas de treinamento) cuja classe além do conhecimento da verdade terrestre, tivessem sido classificados no método ISODATA, obtendo-se assim um melhor resultado do que com apenas o conhecimento da verdade terrestre.

A seleção das áreas de treinamento é uma etapa importante pois interfere no resultado da classificação. Utilizou-se para o agrupamento o método da máxima verossimelhança e foram escolhidas seis classes de uso do solo, de acordo com as classes contidas na carta cadastral. Tais classes correspondem a mata nativa (MN), reflorestamento (RR), capoeira (CC), pastagem (PF), cultura anual (CA) e as áreas de água.

4.2.4 Correção Geométrica e Registro de Imagens

Para a análise multitemporal das imagens Landsat foi necessário aplicar o processo de registro de imagens, deixando uma imagem conforme à outra. Escolheu-se uma das imagens como referência, transformando a outra imagem ao sistema de coordenadas da imagem referência.

O processo de correção geométrica ou registro de imagens compreende transformações matemáticas de modo a oferecer para a imagem características de escala e de algum sistema de coordenadas, sendo que no processo de correção geométrica o sistema de coordenadas corresponde a algum sistema de projeção. O sistema ERDAS permite realizar o processo de

reamostragem por três métodos: a) vizinho mais próximo; b) interpolação bilinear; e c) convolução cúbica.

Identificou-se 13 pontos homólogos nas duas imagens para processar o registro e utilizou-se o método de vizinho mais próximo para a reamostragem. Escolheu-se o método de vizinho mais próximo por utilizar o valor do pixel mais próximo para gerar o valor do pixel da imagem retificada, não calculando novos valores de cinza para a imagem.

Para a correção geométrica selecionou-se 16 pontos idênticos tanto nas imagens como na carta cadastral. A leitura dos pontos na carta foi realizada por interpolação das coordenadas UTM e a leitura dos pontos na imagem foi realizada com o auxílio do *mouse*. As coordenadas da imagem correspondem a um sistema de referência cartesiano ortogonal cujos valores de x e y são dados respectivamente pelo número de colunas e de linhas do pixel analisado.

4.2.5 Levantamento De Campo

O levantamento de campo realizou-se em duas etapas. A primeira etapa serviu como reconhecimento da área de estudo, onde percorreu-se toda a sua extensão analisando o relevo, as condições das estradas e a cobertura florestal das propriedades, como também observou-se a situação sócio-econômica no município.

Para esta primeira etapa contou-se com o auxílio de funcionários do IAP e EMATER (Empresa Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural), que conhecem todo o município e sua estrutura, como também as necessidades e dificuldades dos habitantes rurais de Porto Vitória.

A segunda etapa serviu para a checagem dos dados obtidos na classificação automática das imagens orbitais utilizadas na pesquisa e obtenção de informações complementares para o refinamento das classificações.

Nesta segunda etapa utilizou-se a ampliação fotográfica na escala 1:10.000 (vôo executado em abril de 1995, em escala nominal 1:50.000), onde identificou-se, em campo,

amostras para checagem da fotointerpretação, que posteriormente foi utilizada para auxiliar a classificação supervisionada.

4.2.6 Levantamento Cartorial

Entre os objetivos do Cadastro Técnico Rural estão o de garantir a estabilidade da propriedade, seja econômica ou legal e fornecer parâmetros para uma justa tributação. O envolvimento do sistema de registro de imóveis é fundamental para que os objetivos citados sejam atingidos.

O município de Porto Vitória não possui um Office de Registro de Imóveis próprio, o qual pertence a Comarca de União da Vitória.

A retificação dos imóveis faz parte do trabalho de implantação do CTR e constitui-se em uma das etapas mais demoradas, pois necessita da concordância em termos das divisas com os proprietários dos lotes confrontantes. O IAP serviu como intermediário para esta retificação oferecendo o memorial descritivo de cada propriedade e a declaração da concordância das divisas para o Registro de Imóveis, que fornece ao proprietário a Escritura Pública de seu Título de posse ou escritura pública retificada segundo a área real medida no cadastro.

O registro imobiliário da comarca de União da Vitória, após a implantação do CTR, só fornece a Escritura Pública dos lotes rurais de Porto Vitória com a existência de um memorial descritivo da propriedade, para manter o controle da estrutura fundiária com a confiabilidade que necessita conforme definido durante a implantação do CTR.

4.2.7 Monitoramento do uso do solo

Para o monitoramento do uso do solo utilizou-se quatro métodos: a) superposição de imagens; b) comparação pós-classificação; c) diferença multitemporal entre imagens e d) transformação das componentes principais.

No método de superposição de imagens são atribuídas as cores verde e azul a um canal da imagem de uma data e a cor vermelha para o mesmo canal porém da imagem de outra data. Na combinação colorida resultante identifica-se as alterações devido ao fato das diferenças aparecerem realçadas em uma das três cores, enquanto que as áreas que não sofreram mudanças aparecem em tons de cinza.

O método pós-classificação consiste em comparar as classificações efetuadas separadamente para cada imagem analisada.

O método da diferença multitemporal consiste em criar uma imagem-diferença que deve ser classificada posteriormente. Para criar a imagem-diferença utilizou-se a seguinte expressão, que foi criada e anexada na biblioteca do sistema ERDAS:

$$D_{ijk} = X_{ijk}(T1) - X_{ijk}(T2) + 127$$

onde: D = valor da diferença entre canais

i = linha

j = coluna

k = canal

X = valor do nível de cinza do pixel

T1 = passagem 1

T2 = passagem 2

127 = constante somada para produzir uma imagem positiva

A transformação das componentes principais compara o conjunto de dados das duas imagens. As partes da cena onde ocorrem ausência de correlação são as que apresentam alterações.

Imagens Landsat possuem alto grau de correlação entre suas bandas. A transformação por componentes principais analisa as correlações entre as bandas das imagens brutas produzindo um novo conjunto sem nenhuma correlação. A primeira e a segunda componentes representam áreas em que não ocorreram alterações e a terceira, quarta e quinta componentes são as que apresentam alterações.

4.2.8 Monitoramento Cadastral

Através de alterações no uso do solo é possível analisar possíveis alterações na estrutura fundiária. A análise das alterações foi realizada com os produtos obtidos no monitoramento do uso do solo e com auxílio dos levantamentos de campo e cartorial.

Efetuuou-se a análise através de superposição dos produtos obtidos no monitoramento do uso do solo com a carta cadastral.

5 RESULTADOS E ANÁLISES

5.1 ESTATÍSTICA DAS IMAGENS

Estatística da Imagem de 1989

Banda	Média	Desvio	Valor máximo	Valor mínimo
1	71,4789	4,2633	255	59
2	28,7414	3,3004	114	16
3	25,2256	5,2840	132	15
4	71,9249	16,1287	156	10
5	79,0117	22,1966	255	0
7	22,2866	9,3876	209	0

Tabela 1

Observando a tabela 1 nota-se que a banda 5 da imagem de 1989 é a que apresenta o maior contraste, pois a distribuição dos níveis de cinza estão representados em todo o intervalo (0 à 255). O desvio padrão também é o maior (22,1966 *pixels*), caracterizando uma melhor distribuição no intervalo.

A banda 2 possui o menor desvio padrão (3,3304 *pixels*) e o menor intervalo de distribuição dos níveis de cinza (16 à 114) caracterizando uma banda de baixo contraste, sendo portanto de difícil interpretação, se analisada individualmente.

Estatística da Imagem de 1989⁹⁰

Banda	Média	Desvio	Valor máximo	Valor mínimo
1	52,0362	5,2772	91	42
2	22,4638	4,5353	52	13
3	23,7677	8,2559	112	10
4	49,7254	13,2920	103	4
5	68,2877	23,9091	189	1
7	20,5095	9,3815	112	1

Tabela 2

Para a imagem de 1990 (tabela 2), como também observado na estatística de 1989 (tabela 1), a banda 5 apresenta o maior contraste. A distribuição dos níveis de cinza está no intervalo de 1 à 189 e o desvio padrão encontrado foi de 23,9091 *pixels*.

A banda 2 é a de menor contraste, seus *pixels* estão distribuídos no intervalo de 13 à 52 e o desvio padrão é de 4,5353 *pixels*, sendo considerada como uma banda de difícil interpretação individual.

Comparando as tabelas 1 e 2 nota-se que a imagem de 1989 é mais nítida que a imagem de 1990 pois os *pixels* estão melhor distribuídos nos intervalos de níveis de cinza das bandas. O desvio padrão das bandas homólogas das imagens é maior na imagem de 1989.

5.1.1 Histogramas das imagens originais

O sensor Landsat-TM gera imagens num intervalo de 0 a 255 níveis de cinza em cada uma de suas bandas. Três das bandas estão localizadas na região visível do espectro eletromagnético, três estão na região do infravermelho e uma na região do termal. Utilizou-se na pesquisa as três bandas da região do visível e as três bandas da região do infravermelho.

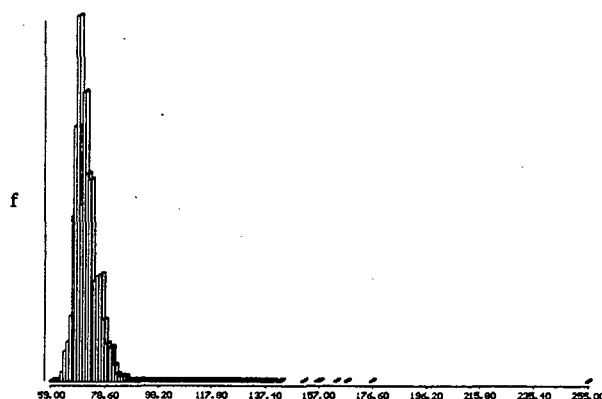


Figura 4 - Histograma da banda 1 - Imagem de 1989

A banda 1 corresponde a faixa do visível do espectro eletromagnético. A imagem de 1989 (histograma mostrado na figura 4) apresenta sua distribuição de níveis de cinza com apenas um pico acentuado em torno do valor médio, 71,4789 *pixels*, caracterizando uma banda de baixo contraste.

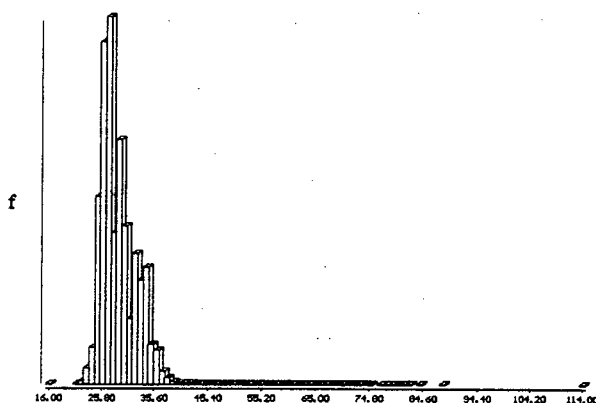


Figura 5 - Histograma da banda 2 - Imagem de 1989

A banda 2 pertence a região do visível do espectro eletromagnético. Para a imagem de 1989 (histograma apresentado na figura 5), a banda 2 representa a de menor contraste pois os *pixels* apresentam-se distribuídos num pequeno intervalo de níveis de cinza concentrados em um único e estreito pico.

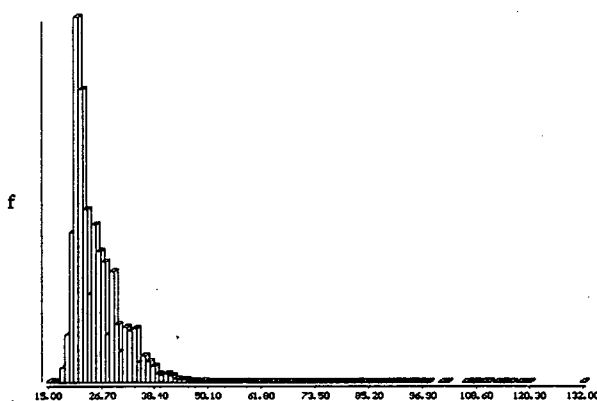


Figura 6 - Histograma da banda 3 - Imagem de 1989

A banda 3 da imagem de 1989 corresponde àquela da região do visível do espectro eletromagnético que apresenta o maior desvio padrão, como também a melhor distribuição dos *pixels* no intervalo de 0 a 255 níveis de cinza, porém o histograma, como nas duas bandas anteriores, é unimodal, localizado próximo à origem.

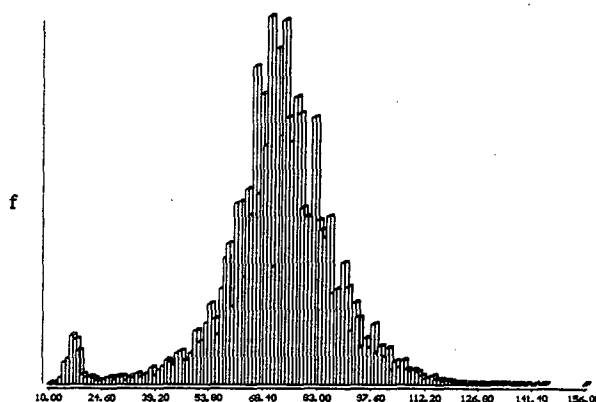


Figura 7 - Histograma da banda 4 - Imagem de 1989

A banda 4 possui seus valores de níveis de cinza melhor distribuídos do que nas bandas discutidas anteriormente. Apresenta um pequeno pico próximo à origem, representando os pixels de áreas de água e um pico maior em torno da média, caracterizando-se como uma banda importante para a análise de uso do solo.

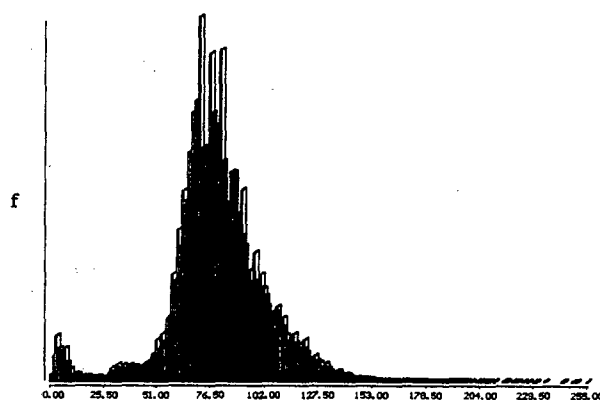


Figura 8 - Histograma da banda 5 - Imagem de 1989

A banda 5 da imagem de 1989, como também apresentado na banda 4, apresenta 2 picos, um próximo à origem e outro com distribuição em torno da média. O pico maior representa as áreas

com vegetação. Devido a sua forma apresentar pequenos outros picos, representa que a região imageada é composta por diferentes tipos de vegetação.

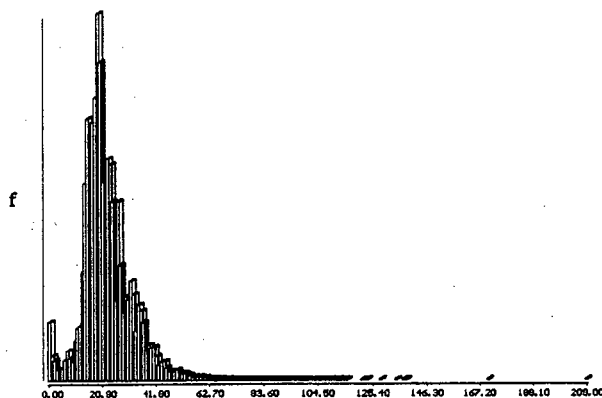


Figura 9 - Histograma da banda 7 - Imagem de 1989

Através da figura 9 nota-se que a banda 7 corresponde àquela da região do infravermelho que possui o menor intervalo de níveis de cinza e também o menor desvio padrão. A forma do histograma é semelhante àqueles das bandas 4 e 5.

Para os histogramas mostrados a seguir (figuras 10 à 15) correspondem à imagem de 1990. Tais histogramas são semelhantes aos discutidos anteriormente porém percebe-se uma melhor distribuição do que os apresentados na imagem de 1989.

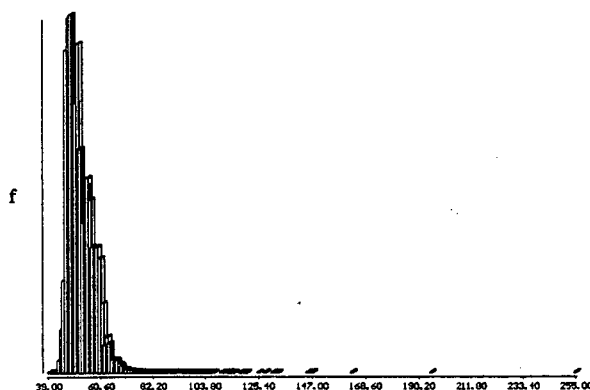


Figura 10 - Histograma da banda 1 - Imagem de 1990

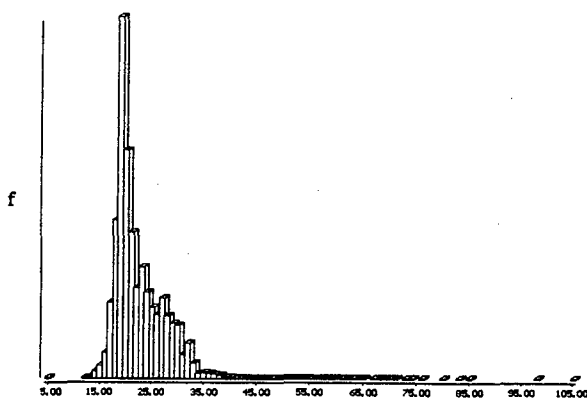


Figura 11 - Histograma da banda 2 - Imagem de 1990

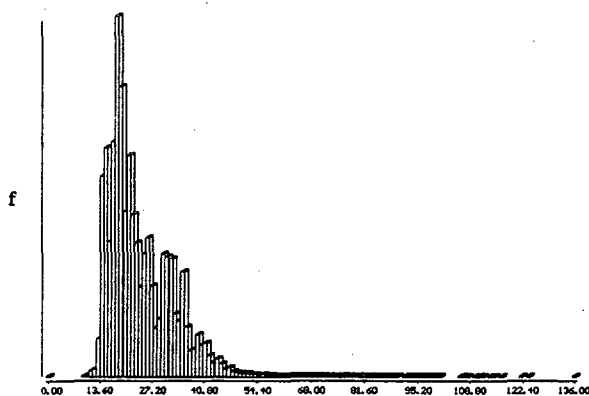


Figura 12 - Histograma da banda 3 - Imagem de 1990

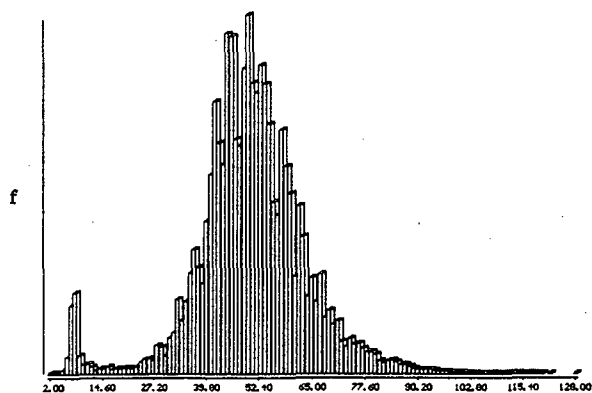


Figura 13 - Histograma da banda 4 - Imagem de 1990

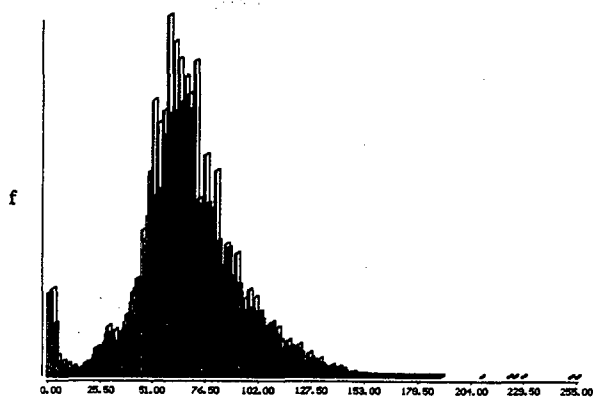


Figura 14 - Histograma da banda 5 - Imagem de 1990

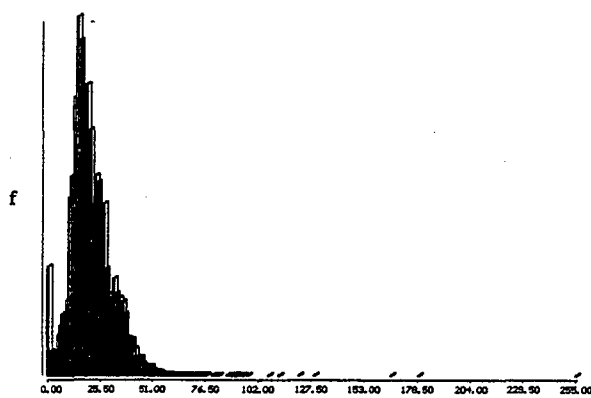


Figura 15 - Histograma da banda 7 - Imagem de 1990

5.1.2 Cálculo da matriz variância-covariância

Matriz variância-covariância da imagem de 1989

	banda1	banda2	banda3	banda4	banda5	banda7
banda1	18,18	12,15	19,32	10,32	30,29	21,88
banda2	12,15	10,89	15,68	0,99	32,97	18,95
banda3	19,32	15,68	27,92	16,59	44,94	32,87
banda4	10,32	0,99	16,59	260,13	217,35	33,60
banda5	30,29	32,97	44,94	217,35	492,69	173,44
banda7	21,88	18,95	32,87	33,60	173,44	88,13

Tabela 3

Matriz variância-covariância da imagem de 1990

	banda1	banda2	banda3	banda4	banda5	banda7
banda1	175,07	69,45	73,86	168,01	192,77	58,77
banda2	69,45	47,09	32,54	58,49	82,08	25,26
banda3	73,86	32,54	93,87	80,90	197,79	79,11
banda4	168,01	58,49	80,90	301,17	387,01	113,03
banda5	192,77	82,08	197,79	387,01	810,53	279,84
banda7	58,77	25,26	79,11	113,03	279,84	110,33

Tabela 4

Através das tabelas 3 e 4 verifica-se que a banda 5, tanto para a imagem de 1989 quanto para a imagem de 1990 é a que apresenta o maior índice de variância apresentado portanto, importantes informações para a classificação do uso do solo.

A combinação das bandas 4 e 5 é a melhor em ambas as imagens apresentando os maiores índices de covariância. A utilização destas bandas em conjunto oferece dados importantes para a extração de informações quanto ao uso do solo.

5.1.3 Cálculo da matriz de correlação

Matriz de correlação da imagem de 1989

	banda1	banda2	banda3	banda4	banda5	banda7
banda1	1	0,863445	0,857547	0,150132	0,320037	0,546797
banda2	0,863445	1	0,899354	0,018615	0,450113	0,611502
banda3	0,857547	0,899354	1	0,194697	0,383201	0,662578
banda4	0,150132	0,018615	0,194697	1	0,607114	0,221926
banda5	0,320037	0,450113	0,383201	0,607114	1	0,832334
banda7	0,546797	0,611502	0,662578	0,221926	0,832334	1

Tabela 5

Matriz de correlação da imagem de 1990

	banda 1	banda 2	banda 3	banda 4	banda 5	banda 7
banda 1	1	0,764864	0,576198	0,601033	0,510367	0,422869
banda 2	0,764864	1	0,489351	0,491173	0,420121	0,350377
banda 3	0,576198	0,489351	1	0,481186	0,717082	0,777404
banda 4	0,601033	0,491173	0,481186	1	0,777404	0,620065
banda 5	0,510367	0,420121	0,717082	0,783303	1	0,935820
banda 7	0,422869	0,350377	0,777404	0,620065	0,935820	1

Tabela 6

Através da análise das matrizes de correlação apresentadas nas tabelas 5 e 6, repectivamente para a imagem de 1989 e de 1990, verifica-se a redundância de informações entre as bandas. Este fator deve ser analisado na escolha de uma combinação colorida de bandas. Deve-se escolher bandas de baixa correlação.

Na tabela 5 foi verificado que a maior correlação da imagem de 1989 corresponde às bandas 2 e 3, tendo para estas bandas 89,94% de informação comum. A menor correlação foi encontrada para as bandas 2 e 4, apresentando 1,86% de informação comum.

Para a imagem de 1990, matriz de correlação apresentada na figura 6, verificou-se alta correlação entres as bandas 5 e 7 (93,58%) e a menor correlação foi encontrada nas bandas 2 e 7 (35,04%).

5.1.4 Cálculo do FIO (Fator de índice ótimo)

Fator de índice ótimo para a imagem de 1989

Composição	FIO	Composição	FIO
1-2-3	4,9031	2-3-4	12,3974
1-2-4	22,9535	2-3-5	17,7651
1-2-5	18,2177	2-3-7	8,2689
1-2-7	8,3845	2-4-5	38,6918
1-3-4	21,3544	2-4-7	33,8207
1-3-5	20,3384	2-5-7	18,4190
1-3-7	9,1609	3-4-5	36,8007
1-4-5	39,5333	3-4-7	28,5399
1-4-7	32,4095	3-5-7	19,6404
1-5-7	21,0971	4-5-7	28,7189

Tabela 7

Fator de índice ótimo para a imagem de 1990

Composição	FIO	Composição	FIO
1-2-3	16,27	2-3-4	23,19
1-2-4	20,16	2-3-5	27,68
1-2-5	28,64	2-3-7	16,72
1-2-7	19,89	2-4-5	31,09
1-3-4	24,28	2-4-7	23,75
1-3-5	28,49	2-5-7	26,86
1-3-7	18,81	3-4-5	28,01
1-4-5	31,17	3-4-7	19,98
1-4-7	24,99	3-5-7	20,,02
1-5-7	27,93	4-5-7	24,08

Tabela 8

Através das tabelas 7 e 8 percebe-se que a melhor composição colorida para as duas imagens corresponde a combinação das bandas 1, 4 e 5 por apresentar o maior índice, porém a combinação entre as bandas 2, 4 e 5 pode ser considerada como uma boa alternativa. Nas figuras 16 e 17 são mostradas as composições coloridas 1-4-5 das duas imagens.

As bandas 1 e 2, como pôde ser observado nos histogramas e nas matrizes de correlação, são bandas com respostas espectrais semelhantes. Ambas são da região visível do espectro eletromagnético e possuem muita informação comum. Para a imagem de 1989 e 1990, a banda 1 e a banda 2 possuem 86,34% e 76,49% respectivamente de informação comum.



Figura 16 - Composição colorida 1-4-5 da imagem de 1989



Figura 17 - Composição colorida 1-4-5 da imagem de 1990

5.2. AUMENTO DE CONTRASTE

Estatística da imagem de 1989 com aumento de contraste

Banda	Média	Desvio	Valor máximo	Valor mínimo
1	105,2637	71,7090	255	0
2	102,9840	82,0607	255	0
3	85,4645	76,7728	255	0
4	137,2266	64,6179	255	0
5	122,5272	64,3341	255	0
7	106,8274	68,3621	255	0

Tabela 9

Estatística da imagem de 1990 com aumento de contraste

Banda	Média	Desvio	Valor máximo	Valor mínimo
1	96,87	94,33	255	0
2	94,33	75,47	255	0
3	95,65	75,62	255	0
4	127,17	65,61	255	0
5	119,95	65,57	255	0
7	110,99	68,87	255	0

Tabela 10

Após a aplicação da técnica de aumento de contraste (aumento linear) verificou-se nos dados estatísticos (tabelas 9 e 10) aumento no desvio padrão e do intervalo da distribuição de níveis de cinza, quando comparados às tabelas 1 e 2 que correspondem a estatística das imagens originais. O aumento foi verificado em todas as bandas utilizadas na pesquisa, tornando-as mais nítidas para a interpretação visual.

Aplicou-se o aumento de contraste apenas para a interpretação visual pois esta técnica modifica o valor radiométrico dos pixels, interferindo no resultado da classificação digital. Tais imagens foram utilizadas na pesquisa para facilitar a identificação dos pontos de apoio utilizados no registro de imagens e na correção geométrica, pois o aumento de contraste não interfere na posição espacial do pixel.

Quanto aos histogramas (figuras 18 à 29), após a aplicação do contraste linear, verificou-se que são idênticos em forma aos histogramas originais (figuras 4 à 15). O que diferem os histogramas originais dos histogramas com aumento de contraste é o espaçamento entre as barras verticais e sua distribuição em todo o intervalo de níveis de cinza.

5.2.1 Histogramas das imagens com aumento de contraste

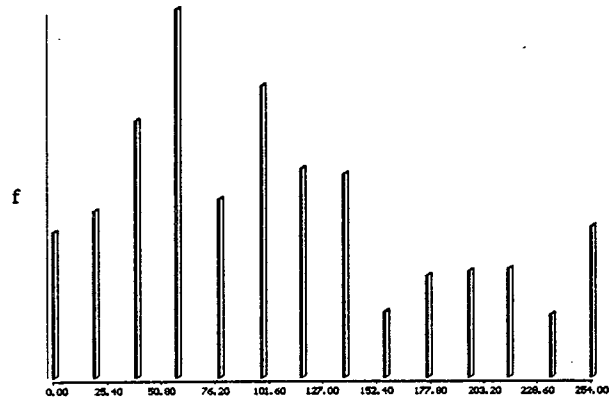


Figura 18 - Histograma da banda 1 - Imagem de 1989 com aumento de contraste

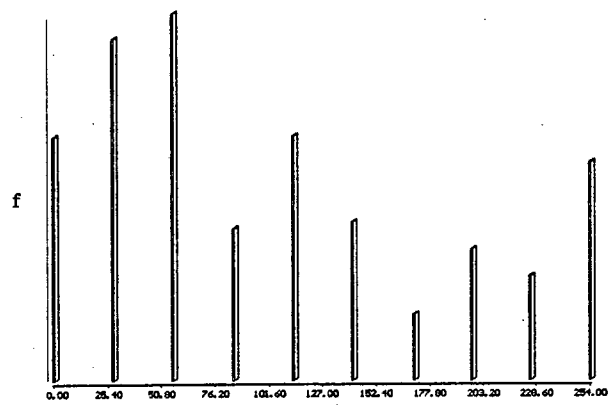


Figura 19 - Histograma da banda 2 - Imagem de 1989 com aumento de contraste

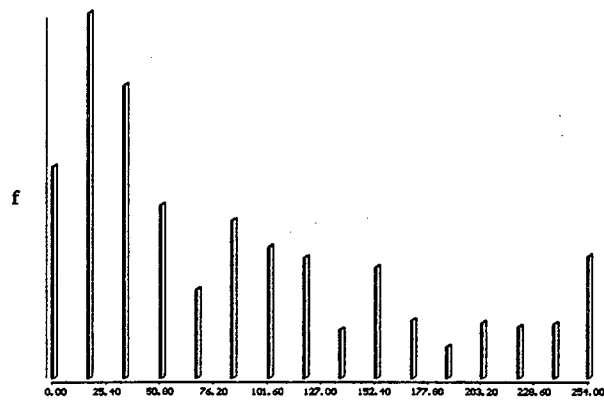


Figura 20 - Histograma da banda 3 - Imagem de 1989 com aumento de contraste

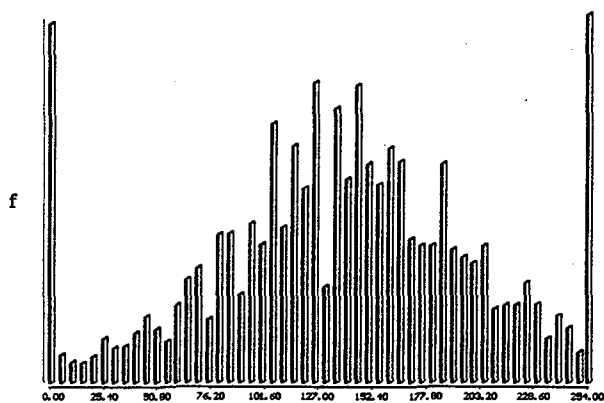


Figura 21 - Histograma da banda 4 - Imagem de 1989 com aumento de contraste

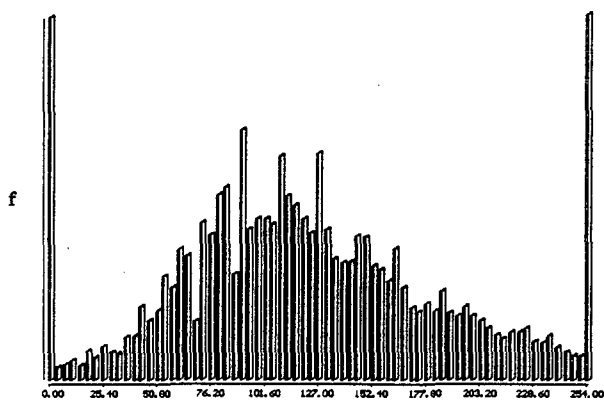


Figura 22 - Histograma da banda 5 - Imagem de 1989 com aumento de contraste

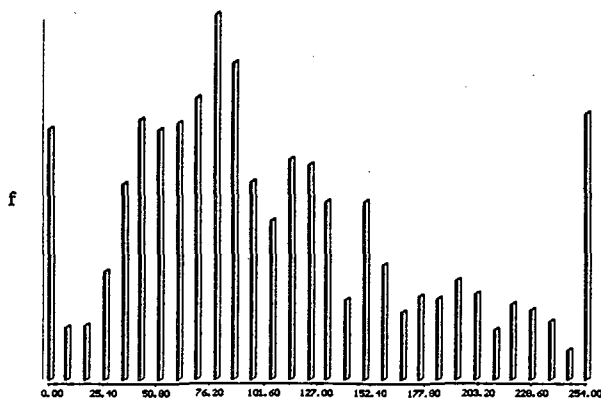


Figura 23 - Histograma da banda 7 - Imagem de 1989 com aumento de contraste

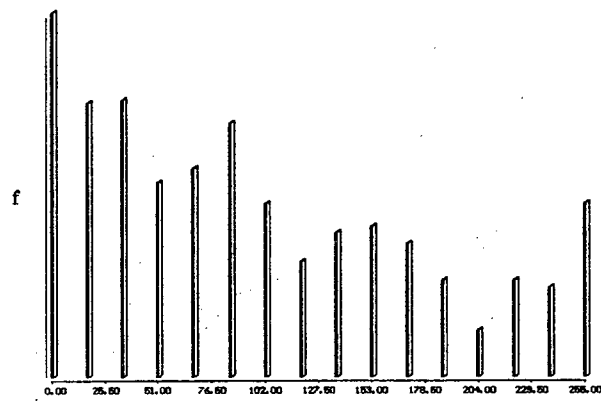


Figura 24 - Histograma da banda 1 - Imagem de 1990 com aumento de contraste

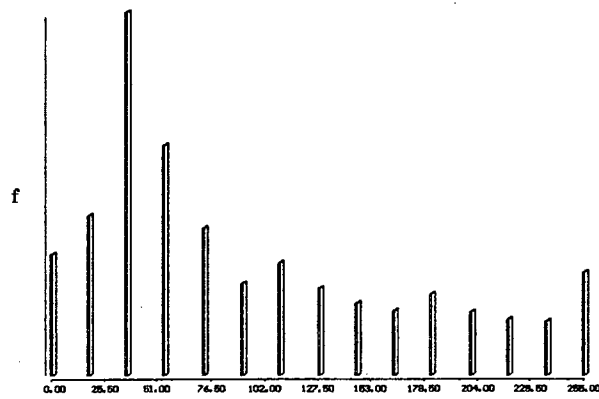


Figura 25 - Histograma da banda 2 - Imagem de 1990 com aumento de contraste

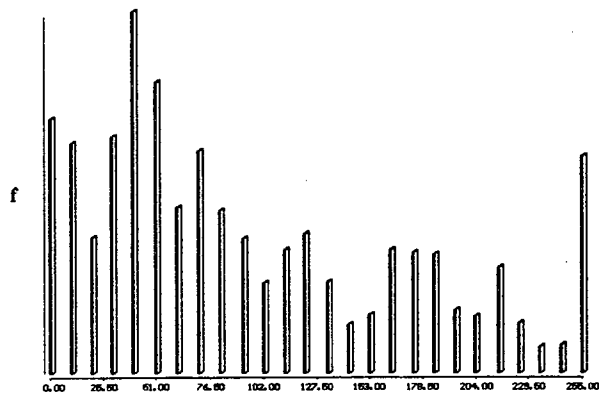


Figura 26 - Histograma da banda 3 - Imagem de 1990 com aumento de contraste

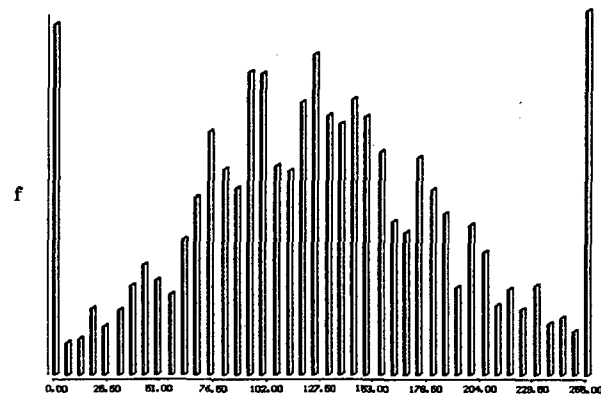


Figura 27 - Histograma da banda 4 - Imagem de 1990 com aumento de contraste

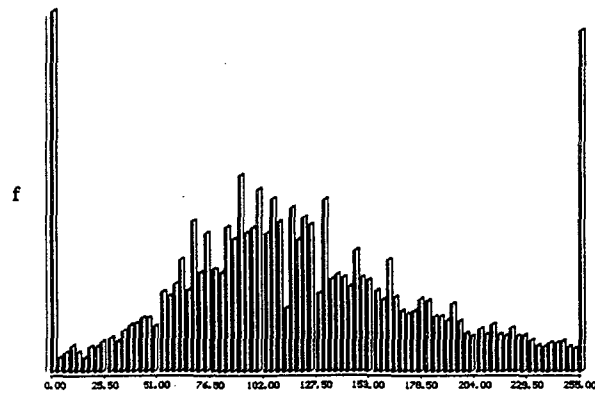


Figura 28 - Histograma da banda 5 - Imagem de 1990 com aumento de contraste

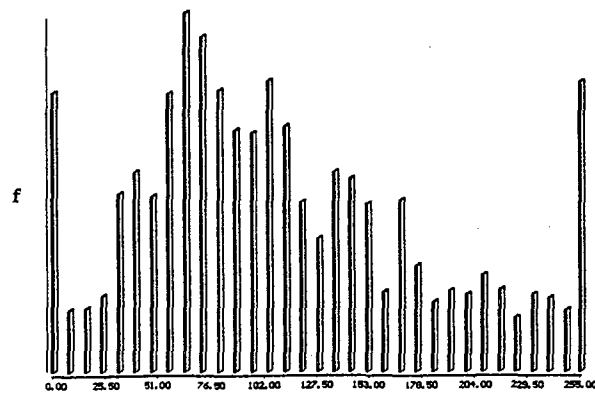


Figura 29 - Histograma da banda 7 - Imagem de 1990 com aumento de contraste

5.3 COLETA DAS ÁREAS DE TREINAMENTO

O levantamento de campo, trabalho de fotointerpretação e a classificação não supervisionada forneceram subsídios para a coleta das áreas de treinamento de cada classe. A coleta das áreas de treinamento (amostras) foi efetuada através de digitalização de polígonos sobre as imagens com aumento de contraste. Estes polígonos foram superpostos nas imagens originais para realizar a extração das amostras.

5.4 REGISTRO DE IMAGENS E CORREÇÃO GEOMÉTRICA

Cada imagem possui um sistema próprio de coordenadas correspondendo a sistemas cartesianos ortogonais cuja unidade de medida é o *pixel* e os valores correspondem ao número da linha e da coluna.

O processo de registro de imagens tem como função deixar as imagens conformes, em um único sistema de coordenadas, possibilitando a superposição de tais imagens.

O registro das imagens foi realizado tendo como referência o sistema de coordenadas da imagem de 1989 e foram utilizados 13 pontos no processo. Utilizou-se como pontos, interseção de estradas, cantos de áreas de cultura e pontos do sistemas hidrográfico.

Os pontos utilizados no registro são mostrados na tabela 11, sendo que o erro médio quadrático encontrado foi igual a 0,95701 pixel.

Pontos de controle utilizados no registro das imagens

Número ponto	Coordenada X (1989)	Coordenada Y (1989)	Coordenada X (1990)	Coordenada Y (1990)
1	193	178	303	331
2	201	211	309	363
3	168	175	278	328
4	132	207	242	359
5	101	169	214	321
6	134	225	242	377
7	196	129	310	281
8	114	137	229	291
9	113	85	230	238
10	236	208	346	359
11	298	105	413	257
12	292	137	404	289
13	321	138	434	289

Tabela 11

Os pontos utilizados na correção geométrica foram escolhidos analisando simultaneamente as cartas e as imagens. O critério para a seleção dos pontos foi o mesmo utilizado no registro das imagens.

Os pontos da carta foram obtidos por interpolação de coordenadas UTM e os pontos das imagens foram determinados com auxílio do mouse onde determinou-se as coordenadas do sistema de linhas e colunas.

Os pontos foram retirados da carta topográfica 1:100.000 devido a esta carta conter dados sobre o município de Porto Vitória como também dados sobre os municípios confrontantes. A utilização de pontos de apoio apenas do município de Porto Vitória não permitiu uma correção geométrica satisfatória.

O processo de correção geométrica necessita de no mínimo 4 pontos de apoio, porém quanto maior o número de pontos, melhor a correção. Em contra partida o tempo de processamento para a correção aumenta. Utilizou-se 16 pontos de apoio para a correção geométrica. As coordenadas nos dois sistemas (carta e imagem) são mostradas na tabela 12.

Pontos de controle utilizados na correção geométrica

Ponto	X carta (m)	Y carta (m)	X imagem 1989 (pixel)	Y imagem 1989 (pixel)
1	474.290	7.104.265	201	212
2	473.970	7.104.145	190	217
3	474.255	7.105.270	193	178
4	473.945	7.105.270	183	175
5	473.470	7.105.465	168	175
6	488.400	7.102.750	670	189
7	477.850	7.107.000	298	105
8	471.250	7.100.450	134	348
9	472.305	7.102.620	248	259
10	473.600	7.095.680	241	492
11	481.000	7.098.320	461	365
12	482.780	7.105.100	470	138
13	470.870	7.105.620	82	184
14	472.140	7.103.015	141	263
15	472.130	7.106.865	115	139
16	474.700	7.106.475	196	129

Tabela 12

A análise da qualidade da correção geométrica é fornecida pelo erro médio quadrático (RMS), que para as imagens da pesquisa foi dado em número de pixels, devido ao sistema de coordenadas adotado para tais imagens. O resultado da correção é mostrado na tabela 13.

RMS dos pontos de controle da correção geométrica

Ponto	RMS	Ponto	RMS
1	1,68	9	1,98
2	2,46	10	0,81
3	0,15	11	0,54
4	2,09	12	0,80
5	1,60	13	0,95
6	0,14	14	1,39
7	2,71	15	2,54
8	2,57	16	7,97

Tabela 13

O processo utilizado na correção geométrica foi o de reamostragem por interpolação, utilizando polinômio de terceira ordem. O erro médio quadrático total encontrado foi de 2,60 *pixels*. Considerando que a maioria dos pontos foram retirados de carta topográfica em escala 1:100.000, o erro encontrado está dentro de uma faixa admissível pois o erro médio dos pontos retirados da carta corresponde a 50 metros e somando o erro de identificação dos pontos na imagem em torno de 1 pixel temos um erro total de identificação em torno de 80 metros, ou seja, 2,60 *pixels*.

5.5 MONITORAMENTO DO USO DO SOLO

O primeiro método utilizado na análise temporal foi o método de superposição de imagens. Utilizou-se para este método a banda TM5 por ser uma das mais indicadas para análise de cobertura florestal.

A superposição foi realizada locando a banda TM5 de 1989 nas cores verde e azul e a cor vermelha para a banda TM5 de 1990. O resultado da superposição é mostrado na figura 30, que está sobreposta à carta cadastral de tema estrutura fundiária.

É importante ressaltar que a folha 8-H-O-0405, mostrada na figura 3, representa a parte oeste do município de Porto Vitória no limite do município com o município de Bituruna-PR. Nas figuras mostradas a seguir (30 à 34) a parte oeste do rio pertence ao município de Bituruna portanto não foi considerada nas análises, uma vez que não se fez controle de campo e não se dispunha de dados da estrutura fundiária desta área.



Figura 30 - Superposição da banda TM5 das imagens de 1989 e 1990

Neste método, a análise temporal é identificada na composição colorida obtida pela superposição de bandas das diferentes épocas. Os elementos que aparecem em tons de cinza não sofreram alteração e os elementos que aparecem realçados nas cores vermelha, azul ou verde indicam mudança.

No método pós-classificação verificou-se o número de *pixels* atribuído a cada classe em cada uma das datas, comparando-os. O resultado das classificações é mostrado na tabela 14 e as classificações são apresentadas nas figuras 31 e 32.

Comparação entre as classificações

Classe	Imagem de julho de 1989 (pixel)	Imagem de setembro de 1990 (pixel)	Diferença (pixel)	Diferença (porcentagem)
Mata	15200	8190	-7010	-46,11%
Reflorestamento	1216	2485	1269	104,36%
Cultura Anual	2831	4404	1573	55,56%
Capoeira	8884	12321	3437	38,69%
Pastagem	747	1725	978	130,9%
Água	2202	1955	-247	-11,22%

Tabela 14

Analisando a tabela acima percebe-se que houve redução das áreas destinadas à mata nativa, aumentando as demais áreas destinadas às outras classes. Quanto as áreas de reflorestamento houve grande aumento devido ao crescimento das árvores caracterizando melhor este tipo de cultura.

A diferença encontrada na classe “água” é devido ao fato da imagem de 1989 ter sido adquirida após período de alta precipitação pluvial e a imagem de 1990 foi adquirida no mês de setembro, correspondendo a estação primavera, período de pouca precipitação pluvial.

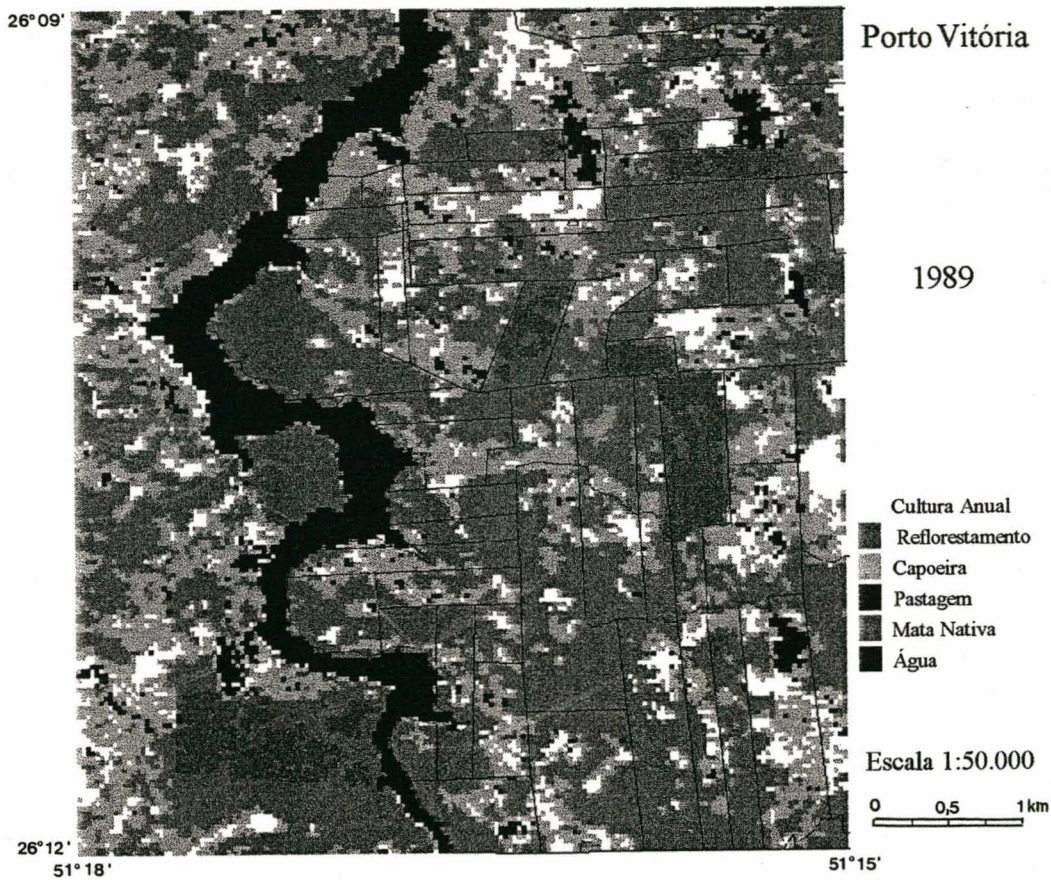


Figura 31 - Classificação Supervisionada da imagem de 1989.

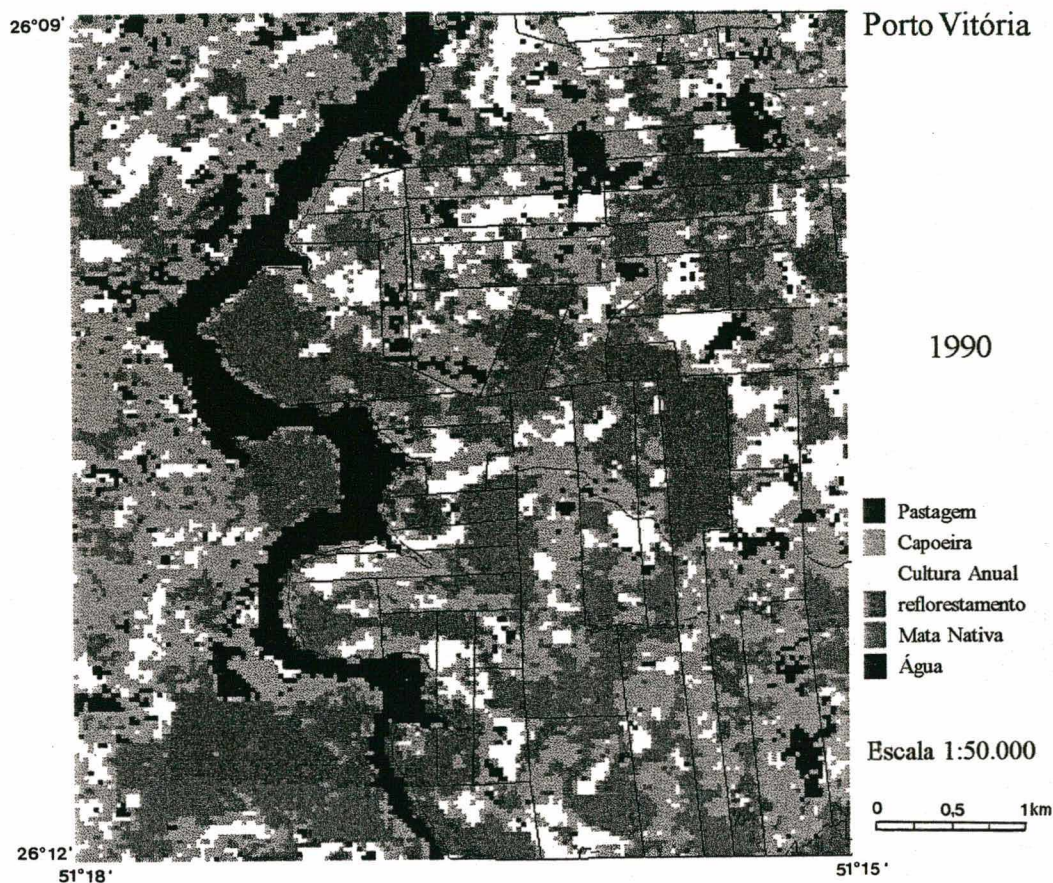


Figura 32 - Classificação Supervisionada da imagem de 1990

O terceiro método analisado corresponde ao método de subtração de imagens. O sistema utilizado no processamento digital (ERDAS) permite utilizar apenas oito elementos (bandas) para as operações algébricas. A subtração foi realizada utilizando quatro bandas de cada uma das imagens.

Utilizou-se as bandas 3,4,5 e 7, por apresentarem uma melhor distribuição dos valores de *pixel*. Após a subtração efetuou-se a classificação. O resultado da classificação é mostrado na tabela abaixo e na figura 33.

Resultado da classificação da imagem subtração

Classe	Classificação (<i>pixel</i>)
Mata	12753
Reflorestamento	1424
Cultura Anual	6657
Capoeira	5624
Pastagem	2690
Água	1932

Tabela 15

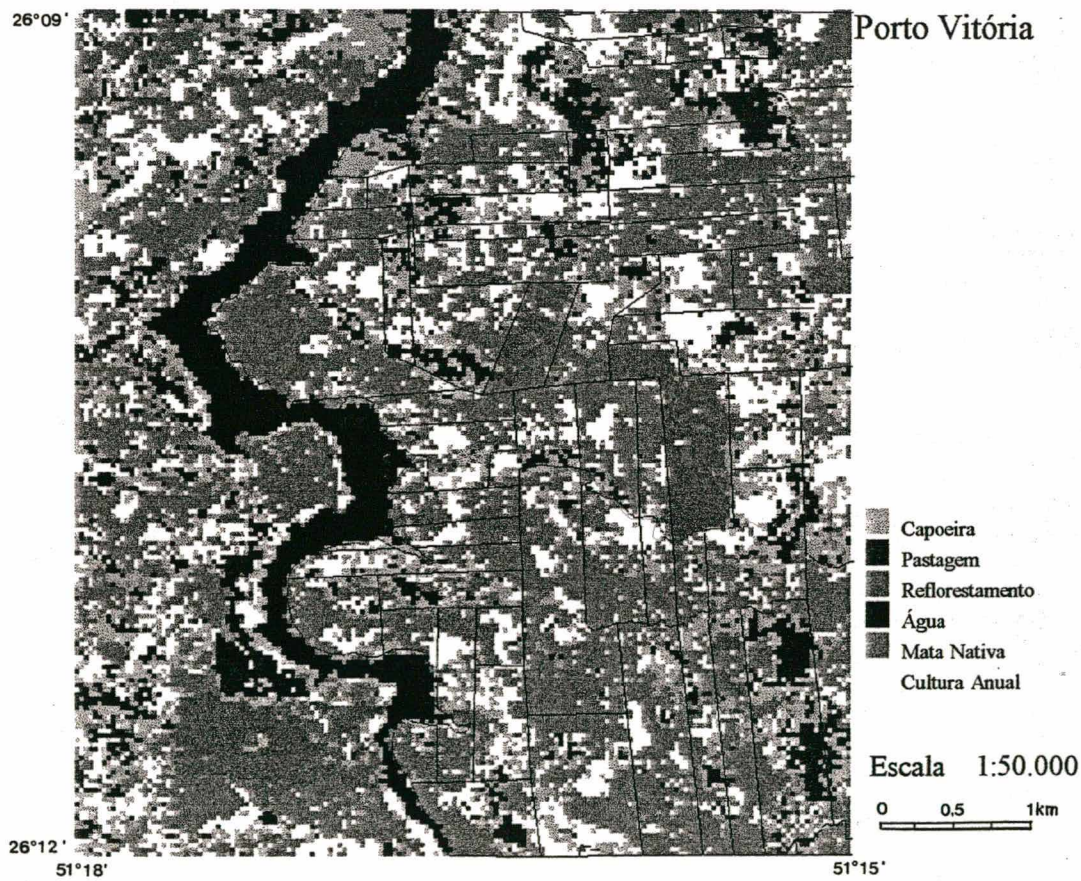


Figura 33 - Classificação da Imagem subtração

O quarto método corresponde ao método de transformação das componentes principais. Neste método analisou-se as 12 bandas utilizadas na pesquisa (6 para cada data), criando 12 novas imagens. As 12 bandas originais possuem alto grau de correlação e as 12 novas imagens não são correlacionadas, sendo que a primeira e a segunda componentes apresentam informações comuns a todas as bandas, a terceira, a quarta e a quinta componentes são as que apresentam as informações sobre as alterações.

Classificou-se o resultado da transformação das componentes principais correspondentes a terceira, quarta e quinta componentes obtendo como resultado os dados apresentados na tabela 16.

Resultado da classificação das Componentes principais

Classe	Classificação (<i>pixel</i>)
Mata	12753
Reflorestamento	1424
Cultura Anual	6657
Capoeira	5624
Pastagem	2690
Água	1932

Tabela 16

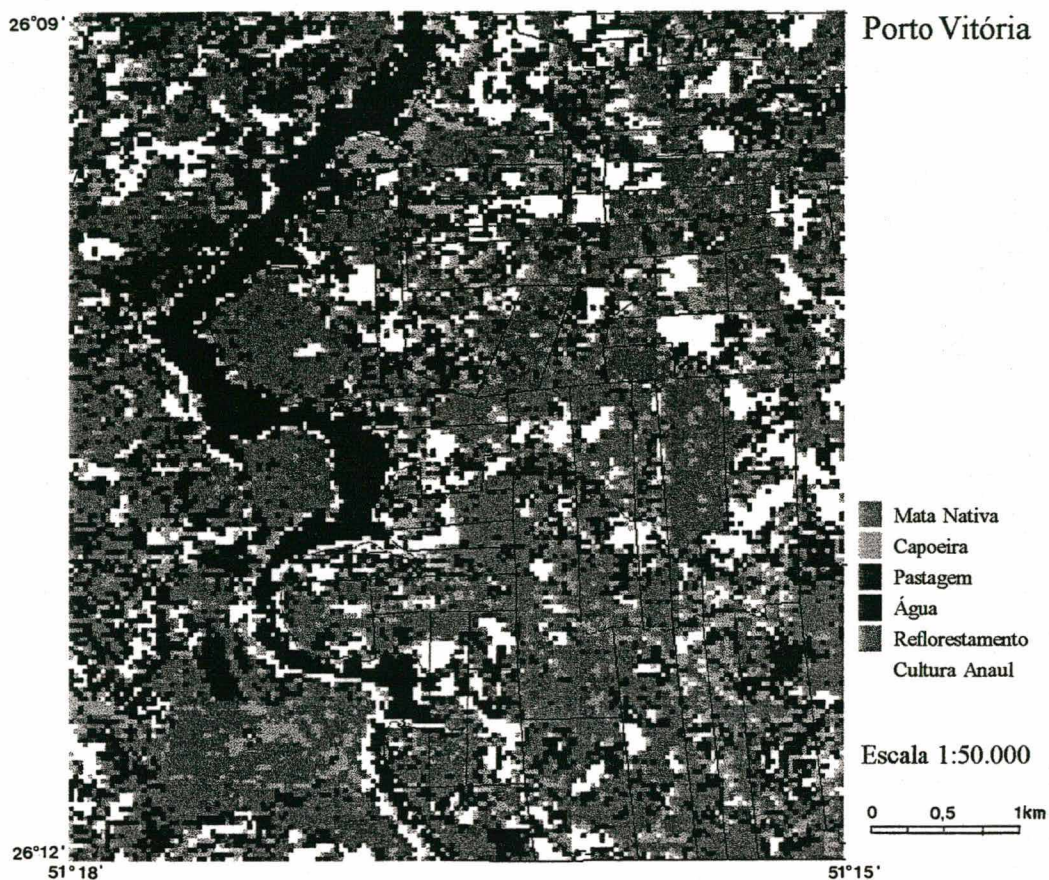


Figura 34 - Classificação das componentes principais

5.6 MONITORAMENTO DA ESTRUTURA FUNDIÁRIA

Com o auxílio das alterações da estrutura fundiária fornecidas pelo IAP analisou-se a eficácia dos métodos de monitoramento do uso solo efetuados na pesquisa, como ferramenta para a identificação destas alterações.

Em todos os métodos utilizados na pesquisa foi identificado redução das áreas de mata nativa e aumento das áreas de reflorestamento, capoeira, cultura anual e pastagem. As diferenças foram observadas em todas as propriedades, não sendo possível analisar alterações na estrutura fundiária.

As diferenças encontradas também correspondem a diferença sazonal entre as datas das duas imagens. A imagem de 1989 corresponde ao mês de julho, estação de inverno e a imagem de 1990 foi obtida no mês de setembro, próxima ao equinócio da primavera. A diferença sazonal dificultou a análise multitemporal das imagens.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A utilização da classificação automática (método supervisionado) de imagens Landsat-TM permitiu detectar alterações no uso do solo, discriminando áreas de mata nativa, reflorestamento, capoeira, pastagem e cultura anual em cada uma das imagens utilizadas na pesquisa.

A etapa correspondente a coleta das amostras de treinamento necessita ser realizada com auxílio de fotointerpretação e de trabalho de campo para a obtenção de resultados confiáveis na classificação.

Quanto ao monitoramento do uso deve-se escolher pontos de controle que além de possuírem coordenadas conhecidas em ambas imagens, sejam bem distribuídos nestas, oferecendo condições para o registro, que deve ser efetuado pelo método de reamostragem de vizinho mais próximo, para não interferir na resolução radiométrica dos *pixels*, prejudicando a classificação.

Para o monitoramento cadastral é necessário corrigir geometricamente as classificações. Nesta etapa encontrou-se dificuldade devido a qualidade dos pontos de apoio, cujas coordenadas foram retiradas de cartas 1:100.000, que possuem erro médio de 50 metros. A utilização destas cartas

para a extração dos pontos de apoio é devido a maior área mapeada, com relação as cartas 1:10.000, que cobriam apenas o município de Porto Vitória. Para a correção geométrica foi necessária extrapolar a área de Porto Vitória para obter um bom resultado.

O monitoramento cadastral do município de Porto Vitória foi dificultado devido aos fatores de diferença sazonal entre as imagens, diferença no índice pluviométrico e características das propriedades de Porto Vitória.

O intervalo de tempo entre as imagens utilizadas na pesquisa é de aproximadamente 14 meses, sendo que a imagem mais antiga data de julho de 1989 (estação de inverno) e a segunda imagem foi obtida em setembro, data próxima ao equinócio da primavera.

A diferença sazonal interfere no monitoramento devido as diferenças no tipo e idade das culturas, como também devido a diferença da elevação solar em cada estação climática, o que ocasiona diferenças no sombreamento topográfico.

A diferença do índice pluviométrico influenciou a classificação, identificando mais pixels como água na imagem de julho de 1989 do que na imagem de setembro por ter sido obtida após período de alta precipitação.

As características das propriedades de Porto Vitória também influenciaram na classificação automática pois a estrutura fundiária do município é caracterizada por minifúndios (o módulo rural é de 15 ha). A mudança homogênea quanto ao uso do solo das propriedades impossibilitou a identificação de alterações na estrutura fundiária.

Recomenda-se que a classificação automática também seja testada com imagens multiespectrais de sensores com maior resolução espacial e que o intervalo entre as imagens seja maior do que o intervalo das imagens analisadas e que as imagens correspondam a mesma estação climática.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI - Associação Cartográfica Internacional; *Comissão para Formação de Engenheiros Cartógrafos*; Reunião da UNESCO, Paris: 1966.
- ANDRÉ, A. *L'expression graphique: cartes et diagrammes*. Paris: Masson, 1980. 224p.
- ARAKI, H. Refinamento da correção geométrica de imagens digitais TM Landsat através da modelagem de efeito, utilizando feições retas como controle. *Dissertação de Mestrado*, Curitiba: UFPR, 1990.
- BÄHR, H. P. *Elementos básicos do cadastro territorial*. 1º Curso intensivo de cadastro de imóveis rurais. 1º curso intensivo de fotogrametria e fotointerpretação aplicados à regularização fundiária. Curitiba: ITC, INCRA e SUDENE, 1982.
- BÄHR, H. P. *Procesamiento digital de Imágenes*. Eschborn: GTZ, 1991
- BRASIL, Secretaria de Planejamento. Comissão de Cartografia. *Cartografia e Aerolevantamento - Legislação*. Brasília, IBGE: 1981. 132p.
- CHUVIECO, E. *Fundamentos de Teledeteccion Espacial*. Espanha, ed. Unigraf s/a, 1990. 451p.

- COLOMBIA, Ministério da Fazenda e crédito Público: In: *Revista Cartográfica* n° 37. México: julho, 1980.
- CROSTA, A. P. *Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto*. Campinas: IG/UNICAMP, 1992
- D'ASSUMPÇÃO, C. E. O cadastro técnico de imóveis rurais - instrumento básico para a execução da reforma agrária. In: 1º Seminário Nacional de Cadastro Técnico Rural e Urbano. *Anais*. Curitiba, ITCF: 1987.
- DOBNER, H. K. *Catastro - Concepto*. México, 1981.
- ESTES, J. E.; HAJIC, E. J.; TINNEY, L. C. In: *Manual of Remote Sensing*. 3ª Ed. Vol. 1. Sheridan Press. American Society of photogrammetry: USA: 1989.
- ESTES, J. E.; SENGGER, L. W. *Remote Sensing - techniques for environmental analysis*. Hamilton Publishing Company. Santa Barbara: 1974. 340p.
- FREITAS, S. R. C. de. Cadastro técnico multifinalitário. In 1º Seminário Nacional de Cadastro Técnico Rural e Urbano. *Anais*. Curitiba, ITCF: 1987.
- GEMAEL, C. *Sistema de Projeção*. UFPR: Curitiba, 1976.
- GLÓRIA, F. A. SILVA da. Novos rumos para o cadastro da propriedade rústica e urbana. In: Seminário Internacional sobre o Cadastro Rústico e Urbano Multifuncional. *Anais*. Lisboa: 1991.
- GONDIM, C. A. de A.; BALATA, K. da S. Cadastro Técnico de Imóveis Rurais. 7º Congresso Brasileiro de Cartografia - *Anais*- volume 1. São Paulo: 1975.
- HAMPEL, G. Conferência de Abertura do Seminário Nacional de Cadastro Técnico Rural e Urbano. In: 1º Seminário Nacional de Cadastro Técnico Rural e Urbano. *Anais*. Curitiba, ITCF: 1987.
- JENSEN, J. R. *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. Prentice-Hall Englewood Cliffs, New jersey, 1986.

- JOLY, F. *A Cartografia*. Tradução de Tânia Pellegrini. Campinas: Papirus, 1990.
- KHATIB, F. El. *História do Paraná*. Ed. Graficar. 4ª Ed. Curitiba: 1959.
- LESSA, G. In: Seminário Nacional de Cadastro Técnico Rural. *Anais*. Curitiba, 1993.
- LIMA, R. B. O sistema nacional de cadastro rural. In: 1º Seminário de cadastro técnico rural e urbano. *Anais*. Curitiba: 1991.
- LOCH, C. Pesquisa de diversos sensores (Landsat, RADAR e Fotografia Aéreas), bem como estudo de suas potencialidades aplicadas à interpretação geológica. *Dissertação de Mestrado*, UFPR: Curitiba, 1982.
- LOCH, C. *Cadastro Técnico Multifinalitário Rural e Urbano*, Ed. da UFSC, Florianópolis, 1989-a.
- LOCH, C. Cadastro técnico no planejamento Municipal. In: 1º simpósio de Agrimensura. *Anais*. Foz do Iguaçu: 1992.
- LOCH, C. *Interpretação de Imagens Aéreas: Noções básicas e algumas aplicações nos campos profissionais*. 2º Ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 1989-b.
- LOCH, C. *Monitoramento Global e Integrado de Propriedades Rurais, a nível municipal, utilizando técnicas de sensoriamento remoto*. UFSC: Florianópolis, 1990.
- LOCH, C.; KIRCHNER, F. F. *Sensoriamento Remoto Aplicado ao Planejamento Regional*. Universidade Federal do Paraná, Curitiba: 1989.
- LORENA, C. O cadastro técnico de imóveis rurais. In: 1º Seminário Nacional de Cadastro Técnico Rural e Urbano. *Anais*. Curitiba, ITCF: 1987.
- MELO, R. G. de A. ; SEIXAS, J. J. de. Projeto e implantação de sistema de cadastro imobiliário e fiscal da prefeitura municipal de Caruaru. 1987. In: 1º Seminário Nacional de Cadastro Técnico Rural e Urbano. *Anais*. Curitiba, ITCF: 1987.

- MITISHITA, E. A. et al. Transformação de entidades naturais e artificiais para o sistema cartográfico, obtidas a partir de imagens digitais de satélite. In: V Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. *Anais*. Vol. 2. Natal: 1988.
- NASCIMENTO, R. da. Análise da organização espacial do uso e ocupação do solo através do cadastro técnico multifinalitário rural. *Dissertação de Mestrado*, UFSC, Florianópolis, 1994.
- NOVAES, J. R. D. Teste de cartas. In: *Revista Brasileira de Cartografia*. 1º Semestre, 1982.
- NOVO, E. M. de M. *Sensoriamento Remoto - Princípios e Aplicações*. Ed. Edgard Blücher Ltda. São Paulo: 1989.
- BRITO, J. L. N e S. Proposta de metodologia para a classificação de documentos cartográficos. In: *Revista Brasileira de Cartografia* nº 27.
- RAISZ, E. *Principles of Cartography*. International Student Edition. McGraw-Hill Book Company. Tokyo:1962. 315p.
- ROBINSON, A. H.; SALE, R. D.; MORRISON, J. L.; MUEHRCKE, P. C. *Elements of cartography*. New York: John Wiley e Sons, 1978.
- SCHNEIDER, V. P.; LOCH, C. Cadastro técnico multifinalitário rural: necessidade para uma justa tributação imobiliária rural (ITR). In: 1º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. *Anais*. Florianópolis: 1994.
- SCHOWENGERDT, R. A. *Thechniques for Image Processing and Classification in Remote Sensing*. Academic Press, New York: 1983.
- SILVA, E. *Cartografia temática a partir de imagens de satélite*. IBGE, Rio de Janeiro, 1986.
- SILVA, A. J. F. M e; D'ALGE, J. C. L. Avaliação da qualidade geométrica de imagens TM-Landsat. In: Simpósio Latino Americano de Sensoriamento Remoto. *Anais*. Gramado:1986.
- SIMONETT, D. S. The development and principles of remote sensing. In: *Manual of Remote Sensing*. 3ª Ed. Vol. 1. Sheridan Press. American Society of photogrammetry: USA: 1989.

TERRON, S. L. Desenvolvimento da base geométrica para um Cadastro Técnico Rural.
Dissertação de Mestrado, Curitiba: UFPR, 1987.

ZIMMERMANN, W. Aspectos Organizacionais do Cadastro Técnico - Experiências Internacionais. In: Seminário Nacional de Cadastro Técnico Rural. *Anais*. Curitiba, 1993.